

Aplicação da caracterização térmica de edifícios na Domótica

Rui Tavares Gonçalves Guedes Saavedra

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Clito Félix Alves Afonso

Orientador na empresa: Eng.º Augusto Lucas Miranda



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Setembro de 2017

Aos meus pais e irmãos que sempre me apoiaram ao longo da minha vida

Resumo

Em prol das tendências climáticas e ambientais que se têm vindo a verificar ao longo das últimas décadas, e de modo a providenciar informação sobre o desempenho energético das habitações aos seus habitantes, este estudo vai fornecer informação ao utilizador de como reduzir a utilização de sistemas de aquecimento ou arrefecimento internos em favor de fontes naturais.

O objetivo principal da presente dissertação prende-se com a realização de um sistema que possa ser adicionado a uma aplicação de domótica e que através de sensores instalados, analise o desempenho térmico de cada divisão da habitação em cada instante. Iremos depois definir que opções entre as existentes nessa divisão se possam tomar para atingir a temperatura desejada pelo utilizador em cada hora.

De modo a analisar a eficácia do sistema, efetuou-se uma simulação e “calibração” de um apartamento-modelo, ao longo de um ano com condições climáticas padrão para o concelho do Porto. Em várias alturas no ano e ao longo de 24h, examinou-se os efeitos de dispositivos de proteções solares para áreas envidraçadas, i.e. persinas, estores, e a influência do controle das mesmas para aumentar ou diminuir o ganho de calor dentro de cada divisão. Posteriormente foi simulado o mesmo apartamento-modelo mas com o uso de um sistema de ar condicionado.

Como objetivo secundário executou-se um levantamento dos métodos utilizados para o cálculo e identificação da classe energética de um edifício.

As simulações permitem verificar que a análise do desempenho térmico permite identificar a energia necessária a cada instante para se obter a temperatura pretendida na divisão e num designado momento e averigua-se também que as contribuições solares podem reduzir o uso de sistemas de climatização dependendo das áreas envidraçadas e das suas orientações.

Abstract

On behalf of the climatic and environmental trends which have been verified over the last decades, and in order to provide information on the energy performance of the dwellings to their inhabitants, this study will provide information to the user on how to reduce the use of internal heating or cooling systems in favour of natural sources.

The main objective of this dissertation is the realization of a system that can be added to a home automation application and that through installed sensors analyses the thermal performance of each room of the dwelling/ at each moment. We will then define which of the options in this room can be used to achieve the desired hourly temperature.

In order to analyse the effectiveness of the system, a simulation and "calibration" of a model apartment was carried out, over a year with standard climatic conditions for the municipality of Porto. For several times throughout the year and over 24 hours, the effects of sun protection devices for glazed areas, i.e. persimmons, blinds, and the influence of their control were examined to increase or decrease the heat gain within each room. Subsequently, the same model apartment was simulated but with the use of an air conditioning system.

As a secondary objective was performed a survey of the methods used to calculate and identify the energy class of a building.

The simulations allow to verify that the analysis of the thermal performance allows to identify the energy required at each moment to obtain the desired temperature in the assigned division and moment. It is also verified that solar contributions can reduce the use of air conditioning systems depending on the glazed areas and their orientations.

Agradecimentos

Durante os vários meses para a execução desta dissertação de mestrado, para além da investigação efetuada pelo próprio, foram necessárias as contribuições e apoios de outros, pelo que gostaria de expressar os meus agradecimentos a todos os que contribuíram para a realização da presente dissertação.

À Winwel electronics pela sua disponibilidade e orientação para realizar esta dissertação.

Ao professor Clito Afonso, regente das dissertações pela imediata disponibilidade em orientar e aprovar a execução da presente dissertação.

Aos meus pais e irmãos por todo o suporte durante a execução do Mestrado Integrado.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	O projeto “Dona” na Winwel Electronics.....	2
1.3	Objetivos do projeto	3
1.4	Método seguido no projeto.....	3
1.5	Estrutura da dissertação	3
2	Balanço energético de um edifício	5
2.1	Introdução	5
2.2	Transmissão de calor pela envolvente	5
2.2.1	Pontes térmicas	8
2.3	Renovação de ar	8
2.3.1	Edifícios ventilados naturalmente	9
2.3.2	Edifícios ventilados mecanicamente	11
2.4	Inércia Térmica	12
2.5	Ganhos solares	14
2.5.1	Fatores de obstrução solares	14
2.5.2	Área efetiva coletora de radiação solar de envidraçados	18
2.5.3	Área efetiva coletora de radiação solar das superfícies opacas	22
3	Classe energética.....	23
3.1	Introdução	23
3.2	Limites de necessidades energéticas	23
3.2.1	Aquecimento, Ni	23
3.2.2	Arrefecimento, Nv	24
3.2.3	Produção de Águas Quentes Sanitárias, Na	25
3.2.4	Limite total, Nt	26
3.3	Necessidades nominais de energia	27
3.3.1	Aquecimento, Nic	27
3.3.2	Arrefecimento, Nvc	29
3.3.3	Águas quentes sanitárias (AQS), Nac	30

3.3.4	Energia renovável.....	31
3.3.5	Total, <i>Ntc</i>	31
3.4	Desempenho energético de edifícios	33
4	Análise da automatização dos ganhos solares.....	35
4.1	Introdução	35
4.2	Modelo matemático	35
4.3	Simulação de um apartamento-modelo.....	37
4.3.1	Simulação dos ganhos solares	40
4.3.2	Simulação com aquecimento	45
5	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro.....	48
	Referências	49
	Bibliografia.....	50
ANEXO A:	Zonas climáticas em Portugal	51
ANEXO B:	Metodologia para o cálculo das perdas e ganhos	56
ANEXO C:	Resultados das simulações do Quarto ao longo do ano.....	61

Índice de Figuras

Figura 1 – Identificação do espaço não aquecido (RCCTE, 2006)	7
Figura 2 – Taxas de renovação horarias devidas a ventilação mecânica (Camelo, 2006)	12
Figura 3 – Ângulo do horizonte, vista de topo (Camelo, 2006)	15
Figura 4 – Ângulo do hotizonte, vista lateral (Camelo, 2006)	15
Figura 5 - Exemplo da medição do ângulo de elementos horizontais (Camelo, 2006).....	16
Figura 6 - Exemplo da medição do ângulo de elementos verticais (Camelo, 2006)	18
Figura 7 - Definição do Fator de Forma, $\tau = btr$	24
Figura 8 – Evolução da temperatura interior com e sem ganhos de calor e necessidades de aquecimento (Camelo, 2006).....	28
Figura 9 - Evolução da temperatura interior com e sem ganhos de calor e necessidades de arrefecimento (Camelo, 2006).....	30
Figura 10 - Estrutura do apartamento-modelo.....	37
Figura 11 - Divisões modelo em análise	40
Figura 12 - Diagrama de blocos para a simulação da temperatura no quarto	41
Figura 13 - Evolução da temperatura do Quarto no dia 20 de Março	42
Figura 14 - Evolução da temperatura da Cozinha no dia 20 de março, com a potência calorifica por NE	43
Figura 15 - Evolução da temperatura da Cozinha no dia 20 de março, com a potência calorifica por SE	43
Figura 16 – - Evolução da temperatura do Quarto no dia 5 de agosto	44
Figura 17 - Evolução da temperatura da Cozinha no dia 5 de Agosto	44
Figura 18 - Evolução da temperatura da Cozinha no dia 5 de Agosto	45
Figura 19 – Evolução da temperatura no Quarto com o efeito do ar condicionada, em Março	45
Figura 20 – Rendimento do ar condicionada em Março	46
Figura 21 – Evolução da temperatura no Quarto com o efeito do ar condicionado, em Agosto	46
Figura 22 – Rendimento do ar condicionada em Agosto	47

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Valores das resistências térmicas superficiais (Matias, 2006).....	6
Tabela 2 - Valores do coeficiente <i>btr</i> (RCCTE, 2006).....	7
Tabela 3 -Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares (REH, 2013a)	8
Tabela 4 – Classes de exposição ao vento das fachadas de um edifício ou fração autónoma (RCCTE, 2006).....	9
Tabela 5 – Valores convencionais de <i>Rph</i> para edifícios de habitações (RCCTE, 2006),	10
Tabela 6 – Classes de inercia térmica interior (RCCTE, 2006)	13
Tabela 7 - Regras de simplificação aplicadas a quantificação da inercia térmica interior (REH, 2013).....	13
Tabela 8 – Valores do fator de sombreamento do horizonte em Portugal Continental (REH, 2013a)	16
Tabela 9 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais em Portugal continental (REH, 2013a)	17
Tabela 10 - Valores do fatores de sombreamento de elementos verticais na estação de aquecimento (REH, 2013a)	17
Tabela 11 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais na estação de arrefecimento (REH, 2013a)	18
Tabela 12 - Fração envidraçada (REH, 2013a)	19
Tabela 13 - Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados (REH, 2013a)	19
Tabela 14 - Fator solar do vão envidraçado sem proteção solar (REH, 2013a)	20
Tabela 15 – Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com dispositivos de proteção 100% ativos (REH, 2013a)	21
Tabela 16 - Coeficiente de absorção da radiação solar, α (REH,2013a)	22
Tabela 17 – Limites das necessidades nominais de aquecimento, $Ni\ kWhm^2 \cdot ano$ (RCCTE, 2006).....	24
Tabela 18 – Limites das necessidades nominais de arrefecimento, $Nv\ kWhm^2 \cdot ano$ (RCCTE, 2006).....	25
Tabela 19 – Consumo anual de águas quentes sanitárias em edifícios residenciais (RCCTE, 2006).....	26
Tabela 20 – Balanço energético para a estação de aquecimento (Camelo, 2006).....	27

Tabela 21 - Balanço energético para a estação de arrefecimento (Camelo, 2006).....	29
Tabela 22 - Valores base de eficiência para equipamentos convencionais de climatização e de produção de AQS em edifícios existentes (REH, 2013a).....	33
Tabela 23 - Intervalos de valor de R_{Nt} para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo Habitação (REH, 2013a)	34
Tabela 24 – Área da envolvente de cada divisão pela sua orientação em m^2 , em que (e) parede exterior, (i) parede interior, (i.n) parede interior em contacto com uma divisão não aquecida, (v) envidraçado.	38
Tabela 25 - Fatores de obstrução,.....	38
Tabela 26 - Fatores dos envidraçados presentes no apartamento-modelo.....	39
Tabela 27 – Valores para os envidraçados com e sem proteção ativa.....	39
Tabela 28 – Valores de resistências, definidas e modeladas para a envolvente.....	40
Tabela 29 - Valores dos ganhos solares para o Quarto no dia 20 de Março no período de incidência solar com ou sem proteção [W]	42

1 Introdução

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Estando a sociedade cada vez mais desperta para os problemas energéticos e ambientais, provocados pela utilização e dependência de energias fósseis, as quais se encontram cada vez mais escassas.

Em prol de se reduzir a pegada ecológica iniciaram-se há alguns anos estudos, que deram origem ao começo da transição da utilização de energia fóssil para energias renováveis, tendo-se em simultâneo desenvolvido um novo mercado relacionado com a poupança do consumo de energia, através do controlo e monitorização dos gastos de energia.

Esta mudança de comportamento no consumo energético começou pela mudança de paradigma relativamente ao que se fazia no passado, ao que não é alheio a possibilidade atual de se recorrer a novos equipamentos tecnológicos que permitem e facilitam um comportamento mais ecológico.

Segundo a agencia para a energia (ADENE, 2017) “o que o sector dos edifícios é responsável pelo consumo de, aproximadamente 40% da energia final na Europa. No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ – quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto”.

Tendo em conta as vantagens que o controlo energético dos edifícios provocara para a pegada ecológica, o estudo nesta área tem sido mais intensificado, com a compreensão das vantagens e desvantagens na implantação dos edifícios de modo a que estes tirem partido das condições climáticas que os envolvem, obtendo-se um suporte energético otimizado, onde sejam reduzidos ou mesmo dispensados, os sistemas climáticos usados atualmente nos edifícios.

Paralelamente à área da economia energética em edifícios, outras áreas podem também ser desenvolvidas em prol dum melhor controlo de toda a área edificada, de que se salienta não só a já referida redução do consumo energético, mas também em termos da segurança: quer em termos do funcionamento das diversas redes existentes (água, gás, eletricidade, etc...) quer em termos de intrusão de estranhos na área edificada em causa.

Todas as “exigências” acima referidas e outras que venham a existir no futuro só podem ser resolvidas, com o recurso a uma área do desenvolvimento tecnológico e científico, que é a Domótica, tendo como objetivo a gestão e controlo das habitações.

A domótica permite interligar e gerir os diversos recursos habitacionais instalados, entre eles a iluminação e os eletrodomésticos ligados a rede elétrica, o sistema de vídeo vigilância e alarme, com o intuito de aumentar a comodidade dos residentes ao mesmo tempo que melhora a eficiência energética da habitação pela monitorização dos consumos sem provocar um transtorno ao utilizador (SISLITE, 2016).

Com a evolução da tecnologia desenvolvem-se a possibilidade de controlar remotamente outros dispositivos eletrónicos, devido ao facto que todos os aparelhos eletrónicos desde o ar condicionado, estores elétricos, piso radiante, alarmes e iluminação têm os seus pontos de comando individuais, a domótica permite centralizar a gestão de todos os aparelhos numa só aplicação.

Com todas os dispositivos habitacionais interligados num só sistema permitem ao utilizador controlá-los independentemente de acordo com as suas próprias necessidades ou se ele preferir optar por um manuseamento mais ou menos automático.

Este trabalho vai desenvolver-se com o intuito de permitir que um sistema de domótica consiga monitorizar os ganhos e perdas de calor que ocorrem em cada divisão para a sua envolvente, de forma a se poder optar por um controlo climático mais confortável e ecológico, podendo o controlo ser manual ou automático.

Este tipo de aplicação tem como alvo edifícios novos ou em reconstrução por virtude de ser necessário a implementação de sensores por todo o edifício o que em edifícios já construídos implica custos mais elevados.

1.2 O projeto “Dona” na Winwel Electronics

O Dona é um sistema de Domótica produzido pela Winwel Electronics, que permite controlar qualquer dispositivo eletrónico existente numa habitação, quer a partir de casa quer remotamente, através de um smartphone, tablet ou computador (Dona, 2017).

O Dona permite integrar o serviço de alarme na plataforma, permitindo armar e desarmar o alarme da casa inteira ou em certas áreas, também se conseguirá navegar facilmente entre o seu sistema de videovigilância, vídeo porteiro e coordenar as ações com o alarme. Podendo-se visualizar quem estiver a tocar na campainha, guardar um histórico de visitantes e abrir a porta remotamente (Dona, 2017).

Através de um menu simplificado que qualquer pessoa poderá utilizar é possível definir uma sequência de ações que serão iniciadas por um certo dispositivo ou hora, caso algumas condições sejam verificadas (Dona, 2017).

Com o Dona o utilizador pode conhecer em tempo real, qual a situação em que a sua habitação se encontra e se necessário, permite alterar no local ou remotamente, o comportamento dos diversos dispositivos. Consegue-se assim que sejam atingidas as condições desejadas ou previamente estabelecidas, quer em termos de temperatura ambiente, quer de luminosidade ou outros parâmetros que interfiram na qualidade ambiental desejada.

Como já se afirmou, este sistema está atualmente direcionado para casas em construção ou que venham a ser sujeitas a remodelações, pois é nestas fases que será economicamente viável, a aplicação dos dispositivos eletrónicos necessários (sensores e controladores), que irão fornecer a cada instante ou período de tempo, a informação necessária para ser analisada e controlada pelo sistema.

1.3 Objetivos do projeto

Esta dissertação tem duas finalidades, a primeira é o levantamento dos métodos para o cálculo da classe energética de edifícios, num formato simplificado, de maneira a permitir a utilização do mesmo por qualquer tipo de utilizador, independentemente do grau de conhecimentos técnicos sobre o assunto.

O segundo objetivo é acrescentar à aplicação DONA, a possibilidade de controlar individualmente a temperatura de cada divisão, utilizando principalmente os ganhos solares disponíveis. Os diversos sensores instalados no edifício, entre eles sensores de temperatura no exterior e no interior de cada divisão juntamente com sensores de intensidade de radiação aplicados em cada fachada do edifício fornecem a informação necessária para conhecer a situação na habitação e os possíveis ganhos.

Apesar de este trabalho ter como corpo principal o controle da temperatura no interior do edifício, com vista à economia do consumo de energia, a aplicação DONA pode também utilizar as informações obtidas pelos diversos sensores instalados, para monitorizar outros parâmetros já mencionadas anteriormente, e com esses dados reagir autonomamente ou enviar alertas ao utilizador consoante as opções definidas por este.

1.4 Método seguido no projeto

De modo a alcançar os objetivos atrás descritos, elaborou-se o seguinte plano de trabalhos:

- Análise dos métodos de caracterização de alguns tipos de edifícios existentes, em que serão considerados os materiais, o tipo de construção e
- Abordagem do tratamento dos métodos de cálculo das classes energéticas e dos dados utilizados na construção e desenvolvimento em Portugal;
- Desenvolver a estrutura de um método simplificado para a identificação da classe energética de edifícios;
- Executar uma simulação para analisar a variação da temperatura consoante os ganhos solares da divisão;
- Elaboração do relatório e apresentação;

1.5 Estrutura da dissertação

Na realização deste trabalho adotou-se a seguinte estrutura:

No segundo capítulo é efetuado um levantamento dos vários componentes necessários para identificar o balanço energético de um edifício, bem como os dados utilizados no cálculo, num formato padrão, de alguns desses componentes em Portugal.

No terceiro capítulo é apresentado o método do cálculo da classe energética dos edifícios e desenvolver uma estrutura simplificada para a sua aplicação.

No quarto capítulo desenvolve-se uma simulação das perdas/ganhos energéticos por condução para se aproximar um valor aproximado dos coeficientes de condução térmicos para as várias

paredes de uma determinada divisão do edifício. Proceder-se-á à realização de uma simulação do controlo da temperatura dentro da divisão consoante os ganhos solares disponibilizados.

No quinto capítulo são apresentadas as principais conclusões deste trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

2 Balanço energético de um edifício

2.1 Introdução

A análise dos vários fatores que provocam as perdas e ganhos de energia numa habitação permite identificar que componentes tem uma maior influência na temperatura interior desta bem como o que pode ser alterado para obter a temperatura desejada.

2.2 Transmissão de calor pela envolvente

A transmissão de calor pela envolvente, está diretamente relacionada com os componentes da envolvente pelos quais a energia pode atravessar, através de condução e convecção, utilizando boas estimativas destes materiais é possível calcular o fluxo de calor que atravessa a envolvente do sistema (ASHRAE,2009).

A condução térmica ocorre entre componentes sólidos (paredes) sendo a condução unidimensional expressa pela equação 1, conhecida por equação de Fourier.

$$\dot{q} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Considerando o caso de uma parede lisa em que a temperatura é uniforme em cada ponto da sua superfície, pode-se integrar a equação 1, obtendo-se a então a equação 2.

$$Q = \frac{-k \cdot A \cdot (T_2 - T_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2)$$

Sendo a condutibilidade e a espessura dependente dos materiais utilizados, estes são normalmente definidos como unidade de resistência térmica, R_j , que para um plano é calculado pela equação 3.

$$R_j = \frac{(x_2 - x_1)}{k} \quad (3)$$

A convecção térmica é expressa através da equação 4.

$$Q = hA(T - T_{\infty}) \quad (4)$$

Em que se pode expressar o coeficiente de filme, h , considerando também como uma resistência térmica, equação 5.

$$R_s = \frac{1}{h} \quad (5)$$

Através da junção das resistências obtém-se o coeficiente de transmissão térmica, U , equação 6, que expressa a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de

área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} \quad (6)$$

Em que,

R_j - Resistência térmica da camada j , [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$];

R_{se} , R_{si} - Resistências térmicas superficiais exterior e interior, respetivamente, [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$];

As resistências superficiais podem ser obtidas pela Tabela 1, dependente do sentido e direção do fluxo de calor.

Tabela 1 – Valores das resistências térmicas superficiais (Matias, 2006)

Sentido de fluxo de calor		Resistência térmica	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica da envolvente depende dos elementos usados na construção do edifício e se este é constituído por camadas de elemento homogéneas ou heterogéneas e se existem espaços de ar entre as diversas camadas (Matias, 2006).

Para simplificar a determinação das resistências térmicas superficiais, utilizam-se valores de referência para as situações mais correntes encontradas nos edifícios, nomeadamente fachadas, pavimentos, e coberturas horizontais e inclinadas. Para situações correntes em Portugal os valores da condutibilidade térmica dos materiais podem ser retirados, da publicação do LNEC Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, que apresenta ainda os coeficientes de transmissão térmica para as situações construtivas mais comuns de paredes, pavimentos e coberturas de edifícios (Camelo, 2006).

O cálculo das perdas de calor por transmissão em elementos que separam o espaço interior de referência de espaços com temperatura ambiente diferente do ar exterior, como é o caso dos elementos da envolvente interior, espaços não-aquecidos, será afetado pelo coeficiente de redução de perdas, b_{tr} , que traduz a redução da transmissão de calor (RCCTE, 2006).

Para a temperatura de espaços não-aquecidos, $T_{n.a}$, considera-se um valor intermédio entre as temperaturas interior, T_i , e exterior, T_{ext} , que pode ser representado pela equação 7 ou equação 8.

$$T_{n.a} = T_{ext} + (1 - b_{tr}) \cdot (T_i - T_{ext}) \quad (7)$$

$$(T_i - T_{n.a}) = b_{tr} \cdot (T_i - T_{ext}) \quad (8)$$

Os valores convencionais de b_{tr} , presentes na Tabela 2 têm em consideração, a relação entre as áreas do elemento que separa o espaço interior do espaço não-aquecido, A_i , e do elemento que separa o espaço não-aquecido do ambiente exterior, A_u , representado na Figura 1.

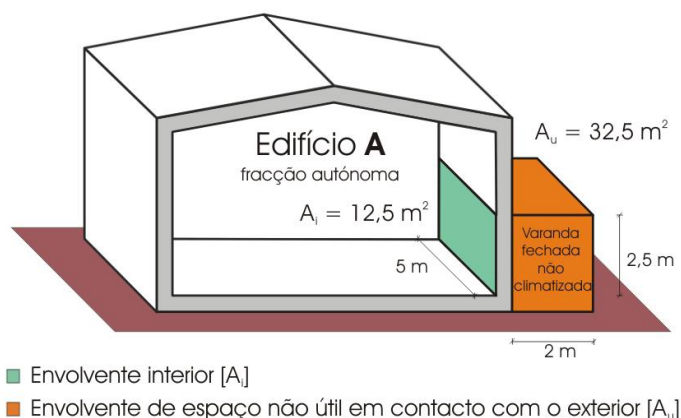


Figura 1 – Identificação do espaço não aquecido (RCCTE, 2006)

Tabela 2 - Valores do coeficiente b_{tr} (RCCTE, 2006)

Tipo de espaço não útil	A_i/A_u		
	De 0 a 1	De 1 a 10	Maior de 10
<i>Circulação comum</i>			
Sem abertura direta para o exterior	0,6	0,3	0
Com abertura permanente para o exterior $A/V_t < 0,05$	0,8	0,5	0,1
Com abertura permanente para o exterior $A/V_t > 0,05$	0,9	0,7	0,3
<i>Edifício adjacente</i>	0,6	0,6	0,6
<i>Garagem</i>			
Privada	0,8	0,5	0,3
Coletiva	0,9	0,7	0,4
<i>Varandas, marquises</i>	0,8	0,6	0,2
<i>Coberturas sobre devão não habitado</i>			
Não ventilado	0,8	0,6	0,4
Fracamente ventilado	0,9	0,7	0,5
Fortemente ventilado	1	1	1

2.2.1 Pontes térmicas

As perdas térmicas que ocorrem em zonas não-correntes da envolvente, em pontos singulares, definem-se como pontes térmicas sendo contabilizadas individualmente através de coeficientes de transmissão térmica lineares, Ψ , podendo ser considerados os valores presentes na Tabela 3 para as situações mais correntes (Camelo, 2006).

Tabela 3 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares (REH, 2013a)

<i>Tipo de ligação</i>	Ψ [$W/m \cdot ^\circ C$]
<i>Fachada com pavimento térreos</i>	0,7
<i>Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido</i>	
<i>Fachada com cobertura</i>	
<i>Fachada com pavimento de nível intermedio</i>	
<i>Fachada com varanda</i>	0,5
<i>Duas paredes verticais em ângulos saliente</i>	
<i>Fachada com caixilharia</i>	0,3
<i>Zona de caixa de estore</i>	

Ainda para facilitar a quantificação das pontes térmicas lineares em ligações entre elementos não-enterrados, também é possível a utilização de um valor convencional, (deve notar-se) devendo referir no entanto que este valor é uma opção geralmente penalizadora do comportamento dos edifícios (RCCTE, 2006).

$$\Psi = 0,5 \text{ W/m} \cdot ^\circ C \quad (9)$$

As perdas térmicas registadas nas pontes térmicas lineares são calculadas pelo produto do valor do coeficiente transmissão térmica linear e pelo comprimento da ponte térmica, b , o qual deve ser medido pelo interior.

2.3 Renovação de ar

Por razões de higiene e de conforto dos ocupantes, é necessário que os edifícios sejam ventilados em permanência por um caudal mínimo de ar. Neste sentido, o edifício ou fração autónoma, deve possuir características construtivas ou dispositivos apropriados de modo a garantir, por ventilação natural ou mecânica, um valor mínimo de renovação de ar (McQuiston, 2000).

2.3.1 Edifícios ventilados naturalmente

Para as situações de edifícios ventilados naturalmente, de modo a quantificar o número nominal de renovações de ar, R_{ph} , é necessário determinar, a respetiva classe de exposição à ação do vento e definir a permeabilidade ao ar da caixilharia utilizada (Camelo, 2006).

A classe de exposição depende de três parâmetros: a altura do edifício acima do solo, a região em que o edifício se situa e a rugosidade da zona circundante.

Em Portugal definem-se duas regiões, pela forma seguinte:

- Região A - Todo o território nacional, exceto os locais pertencentes à região B
- Região B - Região Autónoma dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e/ou de altitude superior a 600 m

Relativamente à rugosidade da zona circundante esta divide-se em 3 tipos distintos:

- Rugosidade I - Edifícios situados no interior de uma zona urbana
- Rugosidade II - Edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural
- Rugosidade III - Edifícios situados em zonas muito expostas, mediante a inexistência de obstáculos que atenuem o vento.

As diferentes classes de exposição consideradas no regulamento existente para o efeito estão sintetizadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Classes de exposição ao vento das fachadas de um edifício ou fração autónoma (RCCTE, 2006)

Altura do edifício/fração acima do solo	Região A			Região B		
	Grau de Rugosidade			Grau de Rugosidade		
	I	II	III	I	II	III
<10 m	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.1	Exp.2	Exp.3
10 m a 18m	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.2	Exp.3	Exp.4
18m a 28m	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp.2	Exp.3	Exp.4
>28m	Exp.3	Exp.4	Exp.4	Exp.3	Exp.4	Exp.4

Sendo as classificações divididas em 4 classes, por ordem crescente de desempenho:

- Sem classificação (série de caixilharia não ensaiada);
- Classe 1;
- Classe 2;
- Classe 3.

O bom desempenho da caixilharia em termos de permeabilidade do ar depende da classe da caixilharia utilizada e também implica uma boa execução e aplicação na da caixilharia em causa.

Uma vez definida a classe de exposição do edifício e a permeabilidade ao ar da caixilharia a instalar, a taxa de renovação de ar horária nominal é obtida segundo a Tabela 5, tendo em atenção a existência ou não de caixas de estore nos vãos envidraçados e de dispositivos de admissão de ar nas fachadas (RCCTE, 2006).

Tabela 5 – Valores convencionais de R_{ph} para edifícios de habitações (RCCTE, 2006),

Classe de exposição	Dispositivo de admissão na fachada	Permeabilidade ao ar das caixilharias							
		Sem classificação		Classe 1		Classe 2		Classe 3	
		com	sem	com	sem	com	sem	com	sem
1	Sim	0,9	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	0,75	0,65
	Não	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75
2	Sim	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70
	Não	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80
3	Sim	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75
	Não	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85
4	Sim	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80
	Não	1,15	1,05	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90

Os valores de R_{ph} obtidos na tabela podem sofrer eventuais correções, dependendo(te) das seguintes situações (RCCTE, 2006):

- Características das aberturas de ventilação – se não existir um mecanismo de autorregulação, considera-se que haverá um aumento das perdas e dos ganhos por renovação de ar, sendo os valores agravados de $0,1h^{-1}$, ou seja, como se não existissem dispositivos de admissão de ar;
- Área relativa dos vãos envidraçados – Os valores da Tabela 5, foram estabelecidos admitindo-se uma área máxima de vãos envidraçados iguais a 15% da área útil de pavimento. No caso da relação de áreas exceder os 15% os valores de R_{ph} devem ser agravados de $0,10 h^{-1}$;
- Tipo de vedação prevista para as portas – No caso em que as juntas móveis de todas as portas exteriores do edifício ou fração autónoma forem bem vedadas, por um material isolante, admite-se a possibilidade de se reduzir os valores de R_{ph} presentes na Tabela 5 em $0,05h^{-1}$.

Nos casos de janelas em que não existam, ou não seja possível, obter informação sobre a classe de permeabilidade ao ar, mas existam vedantes em todo o perímetro da janela, estas poderão ser consideradas como de classe 2 (REH, 2013a).

2.3.2 Edifícios ventilados mecanicamente

Em alternativa à ventilação natural, a renovação de ar de um edifício pode ser assegurada por sistemas mecânicos. O tipo de ventilação em causa, deve incluir não só os caudais de ar correspondentes à ventilação mecânica, mas também à renovação de ar natural.

Caso o edifício existente em estudo disponha de sistema de renovação do ar interior por ar novo exterior recorrendo a ventiladores elétricos em funcionamento contínuo, e se verifique o bom funcionamento dos mesmos, a taxa de renovação horária (R_{ph}) poderá ser determinada através da expressão (RCCTE, 2006).

A taxa de renovação horária do ar é genericamente, dada pela expressão:

$$R_{ph} = \frac{\dot{V}_f + \dot{V}_x}{V} \quad (10)$$

Em que,

\dot{V}_f - Caudal devido a ventilação mecânica

\dot{V}_x - Caudal devido a ventilação natural

V – Volume útil interior

No qual o caudal correspondente à ventilação mecânica, toma valores dependente da situação:

- No caso de sistemas mecânicos de caudal constante considerar-se-á o maior valor entre o caudal insuflado, \dot{V}_{ins} , ou extraído, \dot{V}_{ev} ;
- No caso de sistemas mecânicos de caudal variável considerar-se-á o maior dos valores médios diários dos caudais insuflado e extraído.

A taxa de renovação horária devida à ventilação natural, varia em função da classe de exposição do edifício e do desequilíbrio entre os caudais insuflados e extraídos mecanicamente, conforme representado na Figura 2 (RCCTE, 2006).

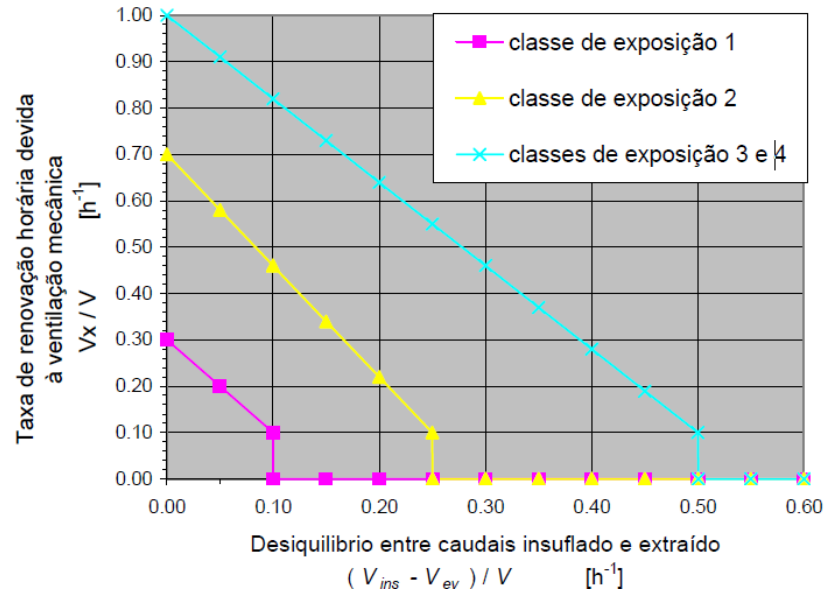


Figura 2 – Taxas de renovação horárias devidas a ventilação mecânica (Camelo, 2006)

Na ausência de informação, designadamente sobre o caudal de ar de base de projeto e as características das bocas de extração dos sistemas mecânicos, pode ser considerado um caudal de ar extraído de 45 m³/h em cada instalação sanitária e de 100 m³/h na cozinha (REH, 2013).

2.4 Inércia Térmica

Designa-se por inércia térmica de uma fração autónoma, como sendo a capacidade de armazenamento e de restituição de calor que os locais apresentam e depende da massa superficial útil por unidade de área útil de pavimento, I_t , de cada um dos elementos de construção (paredes, pavimentos, coberturas) envolventes ou interiores dessa fração e é obtida através da equação (RCCTE, 2006)

$$I_t = \frac{\sum M_{si} S_i}{A_p} \quad (11)$$

M_{si} – Massa superficial útil do elemento i [kg/m²]

S_i – Área da superfície interna do elemento i [m²]

A_p – Área útil de pavimento [m²]

A constituição dos elementos de construção da envolvente em termos do posicionamento das soluções de isolamento térmico (interior, exterior ou intermédia) vai condicionar a contabilização da sua massa superficial útil.

Em função do valor de I_t definem-se três classes de inércia térmica indicadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Classes de inércia térmica interior (RCCTE, 2006)

<i>Classe de Inércia</i>	<i>Massa superficial útil por metro quadrado da área útil da superfície</i>
<i>Fraca</i>	$I_t < 150$
<i>Média</i>	$150 < I_t < 400$
<i>Forte</i>	$I_t > 400$

Em alternativa ao cálculo do valor de I_t a classe de inércia térmica interior, pode ser determinada de acordo com as condições descritas na Tabela 7, com base nas soluções e revestimentos implementados no edifício (Sílvia, 2009).

Tabela 7 - Regras de simplificação aplicadas a quantificação da inércia térmica interior (REH, 2013)

<i>Classe de inércia</i>	<i>Requisitos</i>
<i>Fraca</i>	<p>Caso se verifiquem cumulativamente as seguintes soluções:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura); • Revestimento de piso do tipo flutuante ou pavimento de madeira; • Paredes de compartimentação interior em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação;
<i>Media</i>	<p>Caso não se verifiquem os requisitos necessários para se classificar a classe de inércia térmica em Forte ou Fraca</p>
<i>Forte</i>	<p>Caso se verifiquem cumulativamente as seguintes soluções, sem aplicação de isolamento térmico pelo interior:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pavimento e teto de betão armado ou pré-esforçado; • Revestimento de teto em estuque ou reboco; • Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pelo, com exclusão de soluções de pavimentos flutuantes; • Paredes interiores de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco; • Paredes exteriores de alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco; • Paredes da envolvente interior (caixa de escada, garagem, ...) em alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco

2.5 Ganhos solares

Os ganhos solares de uma fachada variam ao longo do ano dependentemente da intensidade e orientação da radiação solar, do tipo de superfície em que incide a radiação e tendo em conta as obstruções existentes. Os ganhos solares são então contabilizados pela equação 12 (REH, 2013^a).

$$Q_s = \sum_j G_j \sum_n F_{s_{nj}} \cdot A_{s_{nj}} \quad (12)$$

Em que,

G_j – Energia solar incidente numa superfície com a orientação j

$F_{s_{nj}}$ – Fator de obstrução da superfície do elemento n , com orientação j

$A_{s_{nj}}$ – Área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n , com a orientação j

Como é compreensível, os fatores acima apresentados não tomam, necessariamente, os mesmos valores ao longo do ano, devido aos diferentes ângulos de incidência da radiação solar e ao modo de utilização das proteções solares móveis, pelo que se calcula valores para o período de aquecimento e arrefecimento.

2.5.1 Fatores de obstrução solares

O fator de obstrução da superfície, F_s , representa a redução da radiação solar que incide na superfície devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos, designadamente:

- Obstruções exteriores ao edifício, tais como outros edifícios, vegetações;
- Obstruções criadas por elementos do edifício, tais como outros corpos do mesmo edifício, palas, varandas e elementos de enquadramento do vão externos à caixilharia.

O valor do fator de obstrução calcula-se de acordo com a seguinte equação

$$F_{s_{nj}} = F_{h_{nj}} \cdot F_{o_{nj}} \cdot F_{f_{nj}} \quad (13)$$

Em que,

$F_{h_{nj}}$ – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício

$F_{o_{nj}}$ – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas

$F_{f_{nj}}$ – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício

Fator de sombreamento do horizonte

O fator de sombreamento do horizonte representa o sombreamento provocado num vão envidraçado por outros edifícios e outras obstruções (próximas ou longínquas) e depende de vários fatores, nomeadamente, do ângulo de horizonte, da orientação solar e da latitude em que o edifício se situa (Camelo, 2006).

Para definir o ângulo de horizonte começa-se por identificar as obstruções existentes ao envidraçado em questão, considerando-se todas as obstruções que se encontrem visíveis dentro de um ângulo de 60° para cada um dos lados da normal ao envidraçado, como se demonstra na Figura 3 (Camelo, 2006).

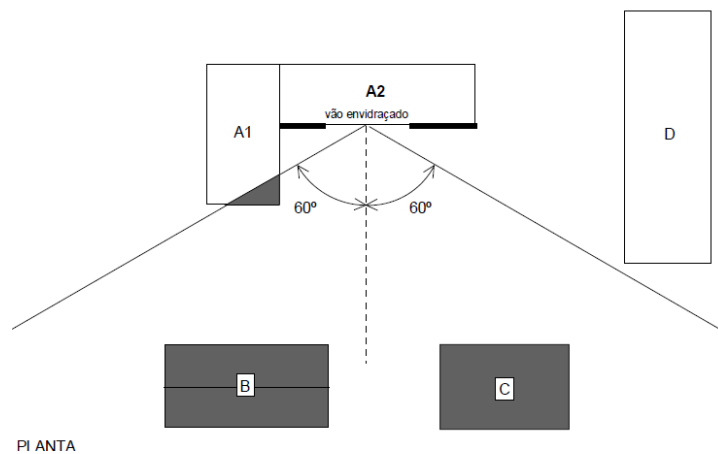


Figura 3 – Ângulo do horizonte, vista de topo (Camelo, 2006)

Sendo depois utilizado o ângulo entre o plano horizontal e a reta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior obstrução seleccionada anteriormente como é demonstrado na Figura 4.

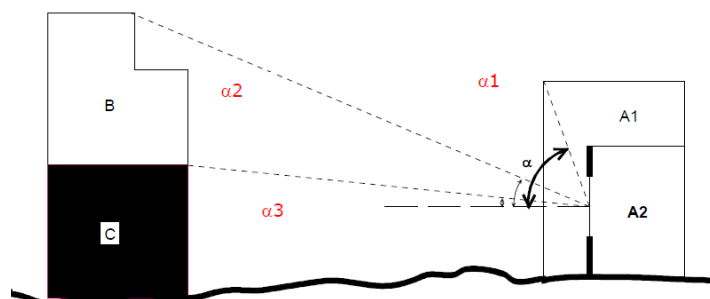


Figura 4 – Ângulo do horizonte, vista lateral (Camelo, 2006)

A partir do ângulo de horizonte definido, a Tabela 8 permite obter o valor do fator de sombreamento do horizonte para aquela fachada ou vão envidraçado consoante a orientação desta.

Por uma questão de simplificação, para ângulos de horizonte superiores a 45° adotam-se os valores correspondentes a um ângulo de 45° .

Tabela 8 – Valores do fator de sombreamento do horizonte em Portugal Continental (REH, 2013a)

Ângulo do horizonte	Estação de aquecimento						Estação de arrefecimento
	H	N	NE/NO	E/O	SE/SO	S	
0	1	1	1	1	1	1	1
10	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1
20	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	1
30	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	1
40	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	1
45	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	1

Fator de sombreamento por elementos horizontais

O fator de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao vão envidraçado é determinado pela percentagem da área do envidraçado que não é sombreada por palas, varandas ou outros elementos exteriores horizontais ou inclinados dependendo, naturalmente, do ângulo de incidência da radiação solar, do comprimento do elemento horizontal sobreposto ao vão e da orientação deste (Camelo, 2006).

Em termos práticos a influência da geometria do elemento de sombreamento e a sua interação com a altitude solar é representada pelo ângulo da “pala”, α , medido a partir do ponto médio do envidraçado, como no exemplo da Figura 5.

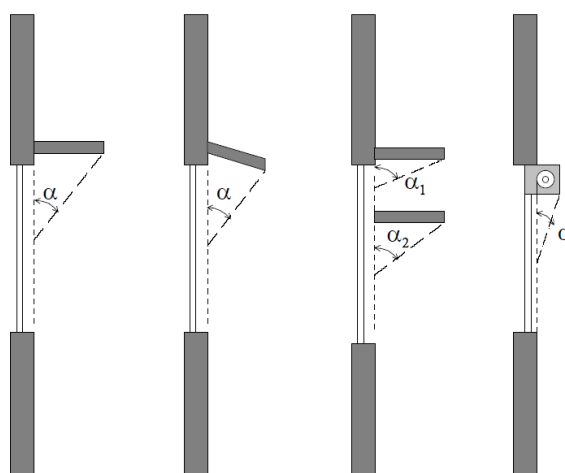


Figura 5 - Exemplo da medição do ângulo de elementos horizontais (Camelo, 2006)

O valor de fator de sombreamento correspondente aos elementos “horizontais” de proteção solar (palas opacas comuns ou outros elementos com efeito semelhante) é obtido dependente da estação por consulta direta da Tabela 9, uma vez conhecidos o ângulo da pala, α , e a orientação do vão envidraçado (Camelo, 2006).

Tabela 9 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais em Portugal continental (REH, 2013a)

Ângulo da pala horizontal	Estação de aquecimento					Estação de arrefecimento				
	N	NE/NO	E/O	SE/SO	S	N	NE/NO	E/O	SE/SO	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52

Por uma questão de simplificação, para ângulos, α , do elemento de sombreamento superiores a 60° adotam-se os valores correspondentes a um ângulo de 60°.

Fator de sombreamento por elementos verticais

O fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado, corresponde a elementos verticais de proteção solar (palas verticais e outros elementos com efeito semelhante) é obtido por consulta direta da Tabela 10 para a estação de aquecimento e pela Tabela 11 para a estação de arrefecimento uma vez conhecidos o ângulo da “pala” vertical, β , consoante a Figura 6 e a orientação do vão envidraçado (Camelo, 2006).

Tabela 10 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais na estação de aquecimento (REH, 2013a)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Pala a esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	40°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,8	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,8
	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
Pala a direita	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	40°	1	0,84	0,8	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,8	0,71	0,79	0,83	0,91	1	1
	0°	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabela 11 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais na estação de arrefecimento (REH, 2013a)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Pala a esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	40°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala a direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	40°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

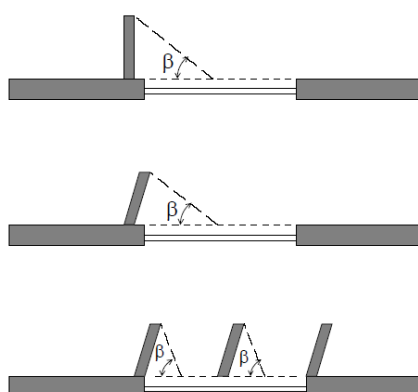


Figura 6 - Exemplo da medição do ângulo de elementos verticais (Camelo, 2006)

Em situações em que o vão envidraçado não possuir palas de sombreamento, horizontais e verticais, considera-se que o contorno do vão provoca um sombreamento, visto que este não é normalmente aplicado a face da parede (RCCTE, 2006).

$$F_o \cdot F_f = 0,90 \quad (14)$$

2.5.2 Área efetiva coletora de radiação solar de envidraçados

A área efetiva coletora de radiação solar de cada envidraçado é representada pela equação 15.

$$A_{snj} = A_w \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp} \quad (15)$$

Onde

A_W – Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho

F_g – Fração envidraçada

F_w – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados

g_{\perp} – Fator solar de vãos envidraçados

Fração envidraçada

A fração envidraçada traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada, vidro, e a área total do vão envidraçado, os valores da fração envidraçada para os tipos correntes de caixilharia obtém-se por consulta da Tabela 12 (REH, 2013a).

Tabela 12 - Fração envidraçada (REH, 2013a)

Caixilharia	F_g	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

Fator de correção da seletividade angular do tipo de vidro

O fator de correção da seletividade angular do tipo de vidro utilizado representa a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta. Obtém-se para os tipos correntes de vidros simples e duplos, por consulta direta da Tabela 13 para os períodos de arrefecimento e aquecimento (REH, 2013a).

Tabela 13 - Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados (REH, 2013a)

Orientação do vão	Estação de arrefecimento					Estação de aquecimento
	N	NE/NO	S	SE/SO	E/W	-
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90	0,9
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85	0,85	0,9

Fator solar do vão envidraçado

O fator do vão envidraçado traduz a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar incidente na direção normal a esse vão, podendo ser consultado os valores padrão dependendo da composição do vidro pela Tabela 14, ou se existir a utilização de dispositivos moveis de proteção solar (estores, portadas, cortinas, etc...), interiores ou exteriores podem ser obtidos por consulta da Tabela 15 (REH, 2013^a).

Tabela 14 - Fator solar do vão envidraçado sem proteção solar (REH, 2013a)

<i>Composição do vidro</i>		$g_{\perp,vi}$
<i>Vidro simples</i>	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
<i>Vidro duplo</i>	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4mm	0,78
	Incolor 4 a 8mm + Incolor 5mm	0,75
	Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8mm	0,60
	Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8mm	0,55
	Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm	0,50
	Colorido na massa 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,45
	Refletante incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8mm	0,52
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,40
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,35
	Tijolo de vidro	0,57

Tabela 15 – Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com dispositivos de proteção 100% ativos (REH, 2013a)

	<i>Tipo de proteção</i>	<i>g_{Tvc}</i>					
		Vidro simples			Vidro duplo		
		Clara	Media	Escura	Clara	Media	Escura
<i>Proteção Exterior</i>	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
	Persianas de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,06
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
<i>Proteção interior</i>	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
	Estore de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortina opaca	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,55	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

2.5.3 Área efetiva coletora de radiação solar das superfícies opacas

A área efetiva coletora de radiação solar de um elemento da envolvente opaca exterior, com orientação j é calculada através da equação

$$A_{s_{nj}} = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se} \quad [\text{m}^2] \quad (16)$$

Onde:

α – Coeficiente de absorção da radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca

U – Coeficiente de transferência de calor do elemento da envolvente, $[\text{W}/\text{m}^2]$

A_{op} – Área da envolvente do elemento opaco exterior, $[\text{m}^2]$

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior igual a $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

O valor do coeficiente de absorção da radiação solar de um elemento opaco é determinado com base na Tabela 16 em função da cor do revestimento da superfície exterior desse elemento (REH, 2013a).

Tabela 16 - Coeficiente de absorção da radiação solar, α (REH,2013a)

<i>Cor</i>	<i>α</i>
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

3 Classe energética

3.1 Introdução

De modo a estabelecer-se a classe energética de um edifício ou fração autónoma, segundo o certificado SCE (2013) de edifícios de habitação é necessário determinar o N_{tc} que corresponde ao valor das necessidades nominais anuais de energia primária e N_t corresponde ao valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária, ambos resultam da soma das suas energias e necessidades nominais específicas de energia primária, entre elas : aquecimento, arrefecimento, produção de águas quentes e as contribuições de energia renovável.

Embora as necessidades anuais nominais de energia primária não traduzam as necessidades energéticas reais de uma fração autónoma em virtude de poderem ocorrer diferenças entre as condições reais de funcionamento e as admitidas como de referência, elas permitem no entanto comparar entre si, objetivamente, os edifícios ou frações autónomas quanto ao comportamento térmico.

Valores elevados indiciam que será necessário utilizar mais energia e por sua vez existe um maior gasto para se obterem as condições de conforto térmico ideais, pelo que, quanto maiores forem os seus valores, mais frios e mais quentes serão os edifícios, respetivamente, no Inverno e no Verão.

3.2 Limites de necessidades energéticas

O RCCTE (2006) determina que cada fração autónoma de um edifício abrangido por este regulamento não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta o aproveitamento dos ganhos solares e internos e de outras formas de energias renováveis, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil.

3.2.1 Aquecimento, N_i

Os valores limites das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento foram estabelecidas com base em diversos estudos paramétricos levados a cabo para as diferentes zonas climáticas no período de Inverno e para diversas tipologias de edifícios (Camelo, 2006).

A determinação do valor, N_i , é calculado em função do fator da forma arquitetónica do edifício, FF , e do numero de graus-dias, GD , que se retira através do Anexo A e são específicos para o concelho, ou seja, para cada zona do País em que se situa o edifício em questão.

O fator de forma define-se em função do volume da habitação, V , e também das áreas das suas superfícies envolventes pelas quais podem haver trocas de calor, exteriores, A_{ext} , e interiores, A_{int} , sendo que as interiores são afetadas pelo coeficiente, b_{tr} , valor retirado pela Tabela 2 do capítulo 2.2.

Assim o fator de forma é dado pela equação 17 e calculado como no exemplo da Figura 7.

$$FF = \frac{\sum A_{ext} + \sum_i (b_{tr} A_{int})_i}{V} \quad (17)$$

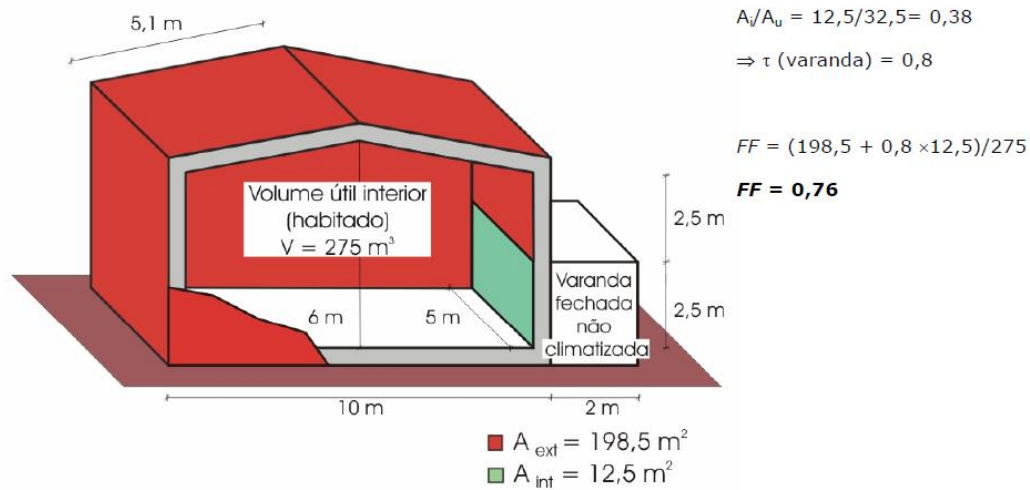


Figura 7 - Definição do Fator de Forma, $\tau = b_{tr}$

Um fator de forma mais elevado implica que haverá uma maior perda de calor pela envolvente, exigindo portanto que para se obter as mesmas condições de temperatura interior, será necessário direcionar mais energia para aquecimento.

Depois de calculado o fator de forma, FF , o valor de, N_i , é obtido por diferentes expressões, consoante o valor de FF , presentes na Tabela 17.

Tabela 17 – Limites das necessidades nominais de aquecimento, N_i [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$] (RCCTE, 2006)

$FF \leq 0,5$	$N_i = 4,5 + 0,0395 \cdot GD$
$0,5 < FF \leq 1$	$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \cdot FF) \cdot GD$
$1 < FF \leq 1,5$	$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 \cdot FF)GD] \cdot (1,2 - 0,2 \cdot FF)$
$FF > 1,5$	$N_i = 4,05 + 0,06885 \cdot GD$

3.2.2 Arrefecimento, N_v

À semelhança do que foi efetuado para cálculo dos valores, N_i , os valores limites das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_v , foram estabelecidos com base em estudos paramétricos levados a cabo para as diferentes zonas climáticas de Verão (Camelo, 2006).

Os estudos referidos focam-se nas soluções construtivas ao nível do edifício, entre os quais os valores dos coeficientes de transmissão térmica de referência para vários níveis de isolamento térmico, no que diz respeito à envolvente opaca e envidraçados (Camelo, 2006).

Sendo os valores limites expressos na Tabela 18, em função da localização da habitação.

Tabela 18 – Limites das necessidades nominais de arrefecimento, N_v [$kWh/m^2 \cdot ano$] (RCCTE, 2006)

	$N_v [kWh/m^2 \cdot ano]$		$N_v [kWh/m^2 \cdot ano]$
V1 (Norte)	16	V1 (Sul)	22
V2 (Norte)	18	V2 (Sul)	32
V3 (Norte)	26	V3 (Sul)	32
Açores	21	Madeira	23

3.2.3 Produção de Águas Quentes Sanitárias, N_a

No que diz respeito aos valores limites das necessidades nominais anuais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias, N_a , o REH (2013) considera como obrigatório o recurso a sistemas de coletores solares térmicos para aquecimento de água sanitária.

Sendo recomendável a instalação de coletores solares, considerando o valor de $1m^2$ de coletor por habitante, pois sem estes, a habitação terá dificuldade em cumprir os valores máximos admissíveis para a produção de águas quentes sanitárias.

O limite é estabelecido em função do consumo médio anual de referência de águas quentes sanitárias e da área útil de pavimento com base na equação 18.

$$N_a = \frac{0,081 \cdot M_{AQS} \cdot n_d}{A_p} \quad (18)$$

Onde,

N_a – Limite das necessidades de energia para preparação de águas quentes

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência de águas quentes sanitárias

n_d – Número anual de dias de consumo de águas quentes sanitárias

A_p – Área útil de pavimento

Para os edifícios residenciais, considera-se que em média uma pessoa necessita de 40 l de água quente por dia e que o número de ocupantes depende da habitação.

Na Tabela 19 especificam-se os valores normalmente atribuídos para as várias habitações e os seus consumos anuais.

Tabela 19 – Consumo anual de águas quentes sanitárias em edifícios residenciais (RCCTE, 2006)

Tipologia	M_{AQS}		n_d	Consumo anual de águas quentes [L]
	Consumo médio diário por Ocupante [L]	Ocupantes	Período de consumo [dias]	
$T0$ e $T1$	40	2	365	29200
$T2$		3		43800
$T3$	
Tn		n+1		(n+1) 14600

3.2.4 Limite total, N_t

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária, N_t , é definido com base nos valores máximos para as necessidades nominais anuais de energia útil, referidos nos pontos anteriores e é calculado pela equação 19.

$$N_t = 0,9 \cdot (0,01 \cdot N_i + 0,01 \cdot N_v + 0,15 \cdot N_a) \quad [kgep/m^2.ano] \quad (19)$$

Onde a constante 0,9 assegura que o edifício terá que ser pelo menos 10% melhor que o estritamente mínimo exigido pelo RCCTE (2006) em termos de qualidade térmica da envolvente do edifício e dos respetivos sistemas de aquecimento, de arrefecimento e de preparação de águas quentes sanitárias.

Os outros fatores segundo os autores Camelo et al, (2006) “(...) pretendem representar os padrões típicos de consumo nas habitações, obtidos em levantamentos estatísticos: 50% dos consumos para AQS, 25% para aquecimento e arrefecimento ambiente e 25% para outros fins específicos. Na prática, esta expressão traduz o princípio de que as habitações não são aquecidas 24 h/dia durante toda a estação de aquecimento, Inverno, nem arrefecidas durante todo o Verão”.

3.3 Necessidades nominais de energia

3.3.1 Aquecimento, N_{ic}

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} , são calculadas para a duração convencional da estação de aquecimento da localidade, em que a habitação está implantada e corresponde à energia útil necessária para manter a temperatura de referência constante no interior do edifício.

Durante a estação de aquecimento, Inverno, a temperatura de referência para o interior do edifício é de 20°C. Sendo que numa situação ideal a manutenção dessa temperatura ocorre através de ganhos solares e internos, pois caso contrário será necessário fornecer energia auxiliar para alcançar o valor da temperatura de referência, aumentando assim os gastos energéticos (Camelo, 2006).

Na estação de aquecimento considera-se a existência de perdas de calor pela envolvente e devido à renovação do ar e ganhos de calor solares e internos, como estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Balanço energético para a estação de aquecimento (Camelo, 2006)

<i>Perdas</i>	Envolvente	Envolvente exterior e interior
		Elementos em contacto com o solo
		Pontes Térmicas
	Renovação de ar	Naturais ou mecânicas
<i>Ganhos</i>	Internos	Ocupantes
		Equipamento
		Iluminação
	Solares	Vãos envidraçados

As necessidades de aquecimento, N_{ic} , definem-se através da equação 20.

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad (20)$$

Em que,

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício

$Q_{tr,i}$ – Perdas de calor por condução através da envolvente do edifício, na estação de aquecimento

$Q_{ve,i}$ – Perdas de calor resultantes da renovação de ar

$Q_{gu,i}$ – Ganhos de calor úteis, solares e interiores, na estação de aquecimento

A_p – Área útil de pavimento do edifício/fração autónoma

A metodologia de cálculo das perdas e dos ganhos na estação de aquecimento é definida no Anexo B, sendo que os parâmetros térmicos e demais informação relevante para o cálculo encontram-se no capítulo 2.

A evolução da temperatura interior de um edifício resulta das trocas de calor com o exterior, arrefecendo quando a temperatura exterior é inferior à interior, representado pelas parcelas de perdas e aquecendo sempre que haja ganhos, normalmente solares, como se demonstra na Figura 8.

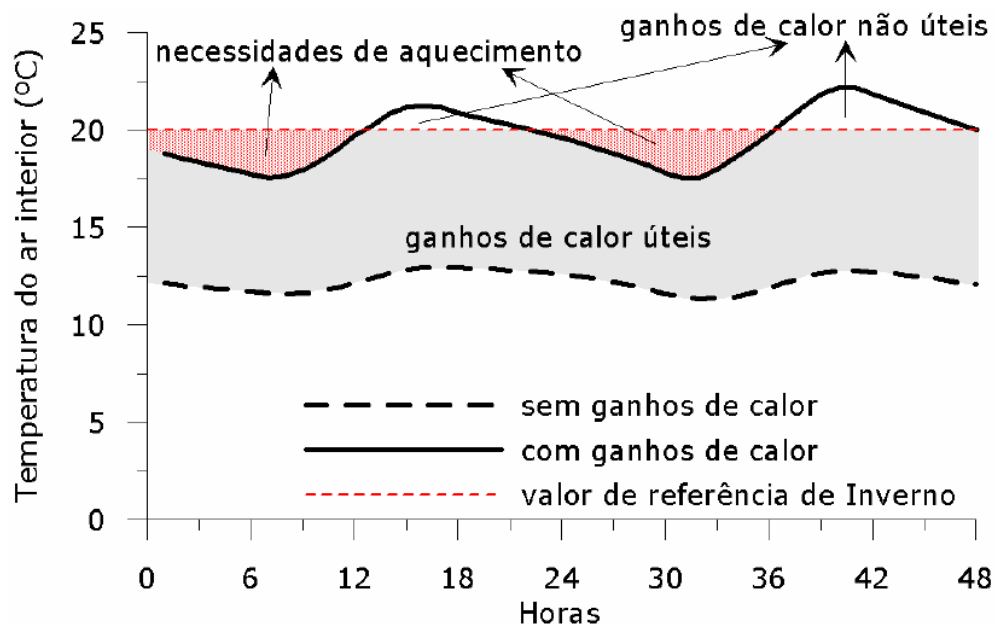


Figura 8 – Evolução da temperatura interior com e sem ganhos de calor e necessidades de aquecimento (Camelo, 2006)

Quando a temperatura interior sobe acima do valor de referência, devido ao excesso de ganhos solares ou interiores, estes ganhos térmicos dão origem a um sobreaquecimento indesejável. Significa que os ganhos térmicos totais brutos, $Q_{g,i}$, ultrapassam os úteis, $Q_{gu,i}$.

Os ganhos térmicos úteis representam os valores desejáveis e são determinados pelos ganhos térmicos totais brutos e pelo fator de utilização dos ganhos térmicos, η_i , expresso na equação 21.

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} \quad (21)$$

3.3.2 Arrefecimento, N_{vc}

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} , à semelhança das necessidades para o aquecimento, consiste na determinação da energia útil que é necessário retirar à fração autónoma, de modo a que a temperatura de referência seja permanentemente mantida.

Tal como na estação de aquecimento considera-se a existência de perdas de calor pela envolvente e por renovação de ar e de ganhos de calor pelo interior e solares, apresentados na Tabela 21. Nesta tabela, os ganhos solares subdividem-se entre ganhos através dos vãos envidraçados e através de elementos opacos, devido ao facto que a radiação solar provocar um aumento da temperatura das superfícies (Camelo, 2006).

Tabela 21 - Balanço energético para a estação de arrefecimento (Camelo, 2006)

<i>Perdas</i>	Envolvente	Envolvente exterior
	Renovação de ar	Natural ou mecânica
<i>Ganhos</i>	Internos	Ocupantes
		Equipamento
		Iluminação
	Solares	Vãos envidraçados
		Elementos opacos exteriores

Para que não haja sobreaquecimento das frações autónomas, a temperatura interior deve ser mantida abaixo dos 25°C, considerada como temperatura de referência para a estação de arrefecimento. No entanto, sempre que os ganhos internos e solares contribuam para o seu sobreaquecimento, consideram-se a existência de ganhos excessivos, os quais devem ser neutralizados ou reduzidos.

A metodologia de cálculo das necessidades de arrefecimento é similar à utilizada para o cálculo das de aquecimento, também presente no Anexo B.

Na estação de aquecimento os ganhos úteis são entendidos como os que permitem alcançar a temperatura de referência sem provocar sobreaquecimento do espaço interior, no entanto na estação de arrefecimento não existem ganhos uteis, pois o objetivo não é atingir uma temperatura de referência mas sim manter a temperatura inferior à de referência, considerando-se como ganhos não-úteis, os ganhos de calor que originem necessidades de arrefecimento, conforme representado na Figura 9 (ADENE, 2014).

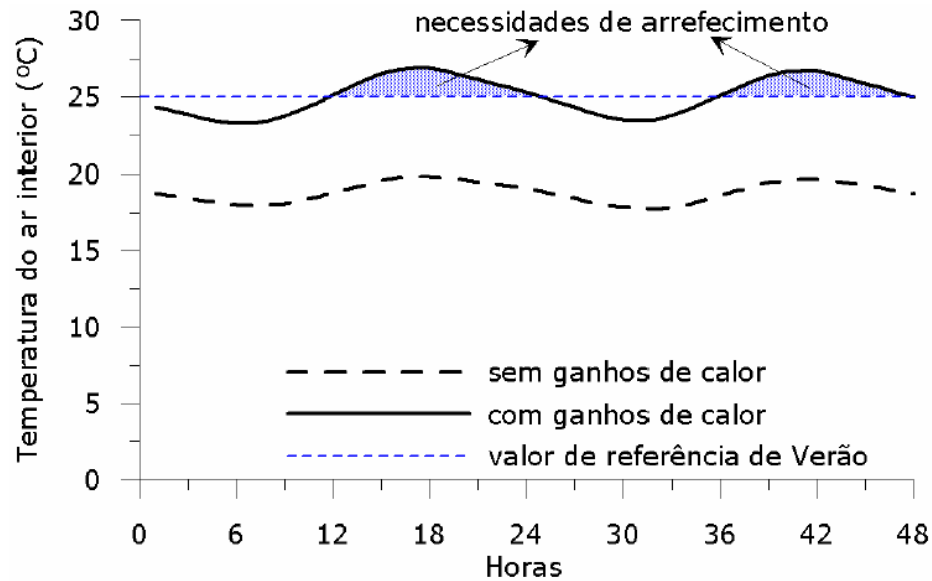


Figura 9 - Evolução da temperatura interior com e sem ganhos de calor e necessidades de arrefecimento (Camelo, 2006)

Assim sendo, muitos dos parâmetros utilizados no cálculo das N_{ic} , são transpostos para o cálculo das N_{vc} , que se determina pela equação 22.

$$N_{vc} = \frac{Q_{g,v}(1-\eta_v)}{A_p} \quad (22)$$

Onde,

N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos totais brutos da fracção autónoma ou edifício

$(1 - \eta_v)$ – Fator de utilização dos ganhos solares e internos na estação de arrefecimento

A_p – Área útil de pavimento da fracção autónoma

Na expressão anterior, a fracção de ganhos térmicos excessivos, não uteis, é representada pelo parâmetro $(1 - \eta_v)$, este parâmetro é calculado em função das transferências ao longo da estação de arrefecimento que ocorrem por transmissão e devido à renovação do ar, bem como dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento, que se encontram definidos no anexo B.

3.3.3 Águas quentes sanitárias (AQS), N_{ac}

Nos edifícios residenciais os cálculos das necessidades nominais para a preparação das águas quentes sanitárias, N_{ac} , incentivam a adoção das contribuições por parte quer da energia solar, quer por parte de outras formas de energia renovável, através da equação 22.

$$N_{ac} = \frac{\frac{M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d}{3600000}}{A_p} \quad (22)$$

Onde,

N_{ac} – Necessidades nominais anuais de energia útil para a preparação de AQS.

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência de AQS.

ΔT – Aumento de temperatura necessário para preparação de AQS.

n_d – Número anual de dias de consumo.

A_p – Área útil de pavimento

Em edifícios residenciais, o consumo médio diário de referência, M_{AQS} , é calculado tal como é descrito no subcapítulo 3.2.3.

Considera-se que a água proveniente da rede pública é disponibilizada à temperatura média de 15°C e deve ser aquecida até à temperatura de 60°C, assim o parâmetro de aumento da temperatura, ΔT , toma o valor de referência de 45°C.

3.3.4 Energia renovável

Finalmente, o parâmetro relativo à utilização de energias alternativas de carácter renovável, E_{ren} , em que se admite a utilização de outros sistemas aos de preparação de AQS, nomeadamente, painéis fotovoltaicos, recuperadores de calor de equipamentos ou fluidos residuais, entre outros, considera-se que os sistemas referidos forneçam energia equivalente numa base anual igual ou superior à dos sistemas coletores solares térmicos (REH, 2013).

Quanto ao destino final da energia renovável captada pelos sistemas alternativos, o aquecimento de águas sanitárias poderá não ser exclusivo, desde que seja mais eficiente ou conveniente a sua utilização dentro da habitação.

3.3.5 Total, N_{tc}

As necessidades nominais de energia primária de um edifício de habitação resultam da soma das necessidades nominais específicas de energia primária tratadas nos subcapítulos anteriormente: aquecimento, arrefecimento e produção de AQS com as subtrações de eventuais contribuições por fontes de energia renovável, de acordo com a equação 23 (REH, 2013a).

Na qual a determinação da eficiência dos equipamentos de produção de energia útil para os sistemas de climatização e de produção de águas quentes sanitárias e retirado pela Tabela 22.

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot N_{ac}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad (23)$$

Onde,

N_{ic} – Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m².ano)]

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k

N_{vc} – Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema k
[kWh/(m².ano)]

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k

N_{ac} – Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k
[kWh/(m².ano)]

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k

η_k – Eficiência do sistema k , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima.

j - Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável

p - Fontes de origem renovável

$E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p , [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida

A_p – Área interior útil de pavimento [m²]

$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária, com o valor de 2,5 para eletricidade e 1 para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis
[kWh_{EP}/kWh]

δ – Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento (N_{vc}) em que pode tomar o valor zero sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado

Tabela 22 - Valores base de eficiência para equipamentos convencionais de climatização e de produção de AQS em edifícios existentes (REH, 2013a)

<i>Tipo de sistema</i>	<i>Eficiência</i>	<i>Idade do sistema</i>	<i>Fator</i>
<i>Resistência elétrica para aquecimento ambiente</i>	1,00	-	-
<i>Termoacumulador elétrico para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS</i>	0,90	Entre 1 e 10 Anos	0,95
		>10 Anos	0,90
		>20 anos	0,80
<i>Esquentador ou caldeira a combustível gasoso ou líquido para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS</i>	0,75	Depois de 1995	0,95
		Ate 1995	0,80
<i>Caldeira combustível sólido, recuperador de calor ou salamandra para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS</i>	0,75	Entre 1 e 10 anos	0,95
		>10 anos	0,90
		>20 anos	0,80
<i>Sistemas de ar condicionado para arrefecimento ambiente, aquecimento ambiente ou bombas de calor para preparação de AQS</i>	2,50	Entre 1 e 10 anos	0,95
		>10 anos	0,90
		>20 anos	0,80

3.4 Desempenho energético de edifícios

O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) é um instrumento de política energética implementada nos diversos Estados-Membros da União Europeia. A implementação deste sistema tem contribuído para o crescente destaque dos temas relacionados com a eficiência energética e utilização de energia renovável nos edifícios, e para uma maior proximidade entre as políticas de eficiência energética, os cidadãos e os agentes de mercado (ADENE, 2014).

A fim de se obter um certificado, é necessária proceder à verificação e validação do mesmo por peritos qualificados, os quais após uma avaliação *in-situ* da habitação podem certificar o desempenho energético do edifício ou fração autónoma, nomeadamente (ADENE, 2014).

No caso de pré-certificados e certificados SCE de edifícios de habitação, a classe energética é determinada através do rácio de classe energética, R_{Nt} , pela equação 24.

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (24)$$

Onde,

N_{tc} – Valor das necessidades nominais anuais de energia primária

N_t – Valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária

A escala de classificação energética dos edifícios ou frações autónomas de edifícios referidos no ponto anterior será composta por 8 classes, correspondendo a cada classe um intervalo de valores de R_{Nt} , de acordo com o apresentado na Tabela 23, arredondados a duas casas decimais (REH, 2013a).

Tabela 23 - Intervalos de valor de R_{Nt} para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo Habitação (REH, 2013a)

<i>Classe Energética</i>	<i>Valor de R_{Nt}</i>
A+	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

4 Análise da automatização dos ganhos solares

4.1 Introdução

Num sistema de domótica é fundamental que o utilizador consiga configurar o sistema sem possuir conhecimento técnico da área em questão, que a aplicação seja intuitiva, sendo também importante que o sistema funcione apenas com uma pequena contribuição do utilizador.

Ao calcularmos as perdas e ganhos térmicos de cada divisão e depois duma análise da variação de temperatura dessa divisão, torna-se possível contabilizar a influência dos ganhos solares, podendo então automatizar os mecanismos de obstrução e isolamento instalados na habitação, otimizando assim os ganhos solares disponíveis ao longo do dia.

4.2 Modelo matemático

Segundo o princípio da conservação da energia e como nos processos de transferência de calor não há produção de trabalho pode-se representar que a variação da energia de uma divisão se representa pela equação 25, na qual o ΔQ representa a variação de energia dentro da divisão e o Q_e e Q_s a energia que entra e sai da divisão correspondentemente.

$$\Delta Q = Q_e + Q_s \quad (25)$$

Como já foi visto anteriormente as perdas e ganhos de calor de um edifício devem-se a transferência de calor por condução através das paredes, o que pode ser representado pela equação 26, sendo que a equação 27 traduz a renovação do ar, e a equação 28 os ganhos solares e se existirem também devem ser contabilizadas as fontes internas (aquecimentos, arrefecimentos) (Almeida, 2009).

$$Q_j = \sum_n [A_{nj} \cdot U_{nj} \cdot \tau] \cdot (\Delta T) \quad (26)$$

$$Q_{ve} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot V \cdot (T_{ext} - T_i) \quad (27)$$

$$Q_{sj} = G_j \cdot \sum_n F_{snj} \cdot A_{snj} \quad (28)$$

Sendo que pela equação 29 se calcula a variação de energia num intervalo de tempo dentro de uma divisão (volume constante), obtém-se assim todas as parcelas necessárias para simular a evolução da temperatura numa habitação.

$$\Delta Q_i = \rho * cp * V_i * \frac{T_{i+1} - T_i}{dt} \quad (29)$$

Agrupando as transferências de calor e os ganhos solares para cada orientação da envolvente exterior, obtém-se as equações 30 e 31 onde se pode analisar a energia total que entra e sai em cada instante através dessa orientação da envolvente. Numa situação em que existam

dispositivos móveis de proteção no envidraçado consegue-se averiguar a diferença de energia para o caso de estes dispositivos estarem ativados ou desativados.

$$Q_{i,j,ext.d} = \sum_n A_{nj} \cdot U_{nj.d} \cdot (T_{ext} - T_i) + G_j \cdot \sum_n F_{s_{nj}.d} \cdot A_{s_{nj}.d} \quad (30)$$

$$Q_{i,j,ext.a} = \sum_n A_{nj} \cdot U_{nj.a} \cdot (T_{ext} - T_i) + G_j \cdot \sum_n F_{s_{nj}.a} \cdot A_{s_{nj}.a} \quad (31)$$

Onde

$Q_{i,j,ext.d}$ e $Q_{i,j,ext.a}$ – Potência calorífica pelo exterior com orientação j , com e sem proteções ativadas

A_{nj} – Área do elemento n com orientação j

$U_{nj.d}$ e $U_{nj.a}$ – Coeficiente de transmissão térmica do elemento n da envolvente, com e sem proteção ativadas

T_{ext} – Temperatura exterior

T_i – Temperatura interior

G_j – Energia solar incidente com a orientação j

$F_{s_{nj}.d}$ e $F_{s_{nj}.a}$ – Fator de obstrução da superfície do elemento n , com a orientação j , com e sem a proteção ativada

$A_{s_{nj}.d}$ e $A_{s_{nj}.a}$ – Área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com a orientação j , com e sem proteção ativada

Para as envolventes interiores a equação de transferência de calor é separada em duas equações consoante a área de contacto com a envolvente, pela equação 32 para envolventes em contacto com áreas não aquecidas e pela equação 33 para outras áreas interiores da habitação.

$$Q_{i,j,n.a} = \sum_n A_{nj} \cdot U_{nj} \cdot 0,6 \cdot (T_{ext} - T_i) \quad (32)$$

$$Q_{i,j} = \sum_n A_{nj} \cdot U_{nj} \cdot (T_{nj} - T_i) \quad (33)$$

Obtém-se então que a equação de conservação de energia para cada divisão da habitação pode ser representada pela equação 34, na qual o fator β toma o valor de 1 caso as proteções solares dos envidraçados estejam ativadas ou zero se estas estiverem desativadas.

$$\Delta Q_i = Q_{ve} + \sum_j \beta \cdot Q_{i,j,ext.a} + \sum_j (1 - \beta) \cdot Q_{i,j,ext.d} + \sum_j Q_{i,j,n.a} + \sum_j Q_{i,j} \quad (34)$$

4.3 Simulação de um apartamento-modelo

Nesta secção serão analisadas as várias perdas e ganhos de calor entre as divisões e o exterior de um apartamento-modelo, simulando o controlo de temperatura de cada divisão com base na informação retirada pelos sensores de temperatura localizados em cada divisão e no exterior bem como pelos sensores de radiação incidente localizados nas fachadas do apartamento.

Para tal definiu-se um apartamento T1, situado no concelho do Porto, com a estrutura identificada na Figura 10, em que a fachada com o vão envidraçado orientada a noroeste e uma porta envidraçada para uma varanda a sudeste.

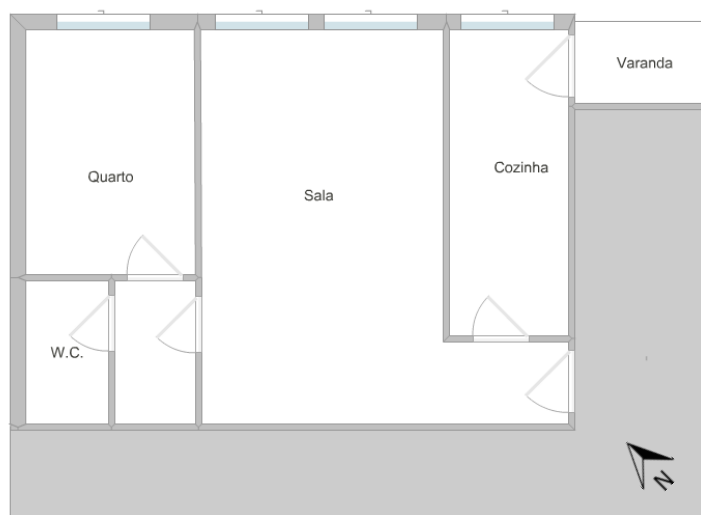


Figura 10 - Estrutura do apartamento-modelo

De forma a reproduzir a informação retirada pelos sensores de temperatura exterior e de incidência de radiação utilizaram-se os valores horários de referência para dados climáticos no Porto, existentes na base de dados do software Solterm5 do INETI.

Como também será fundamental a informação acerca da estrutura do apartamento, dados estes que não se conseguem obter através dos sensores instalados, implica que o utilizador terá de introduzir alguns dos dados, entre eles as áreas e orientações das paredes e envidraçados, sendo que para os envidraçados será também necessário seleccionar o tipo, o sombreamento do mesmo e a proteção existente de entre as possíveis.

Nesta simulação considerou-se que as divisões do apartamento-modelo possuem as áreas envolventes identificadas na Tabela 24 consoante a sua orientação e o seu tipo.

Tabela 24 – Área da envolvente de cada divisão pela sua orientação em m², em que (e) parede exterior, (i) parede interior, (i.n) parede interior em contacto com uma divisão não aquecida, (v) envidraçado.

<i>Divisão</i>	<i>NE</i>	<i>SE</i>	<i>SO</i>	<i>NO</i>	<i>Pavimento</i>
<i>1-Quarto</i>	7,56(e) +3,4 (v)	10,08(i)	7,55(i)	10,08(e)	12
<i>2-Sala</i>	10,08(e) +5,04 (i) +5 (v)	12,6(i) +3,78 (i.n)	15,12(i.n)	16,38(i)	29
<i>3-Cozinha</i>	5,04(e) +2,4 (v)	12,6(i.n) +1,4 (v)	5,04(i)	12,6(i)	10
<i>4-W.C</i>	3,906(i)	6,3(i)	3,906(i.n)	6,3(e)	2,875
<i>5-Hall</i>	3,654(i)	6,3(i)	3,654(i.n)	6,3(i)	3,625

Para esta simulação considerou-se que as obstruções não variam dentro da mesma fachada, assim todos os envidraçados na fachada orientada a NE terão o mesmo fator de obstrução. É preciso considerar que numa situação real na qual os sensores de radiação se localizem na fachada das janelas, os fatores de obstrução são desprezáveis, iguais a 1, pois o valor medido pelos mesmos já contabilizará essas obstruções.

Tabela 25 - Fatores de obstrução,

<i>Fatores do envidraçado</i>	<i>NE</i>	<i>SE</i>
<i>1</i>	0,75	-
<i>2</i>	0,75	-
<i>3</i>	0,75	0,62

Para as fachadas exteriores contabiliza-se também a área efetiva coletora de radiação solar, sendo que para tal se identifica o coeficiente de absorção para as paredes exteriores, paredes estas pintadas de amarelo, que pela Tabela 16 definem um valor de 0,4 para o coeficiente de absorção de radiação.

Para os envidraçados definiu-se os vidros, caixilhos e o tipo de proteção existente em cada envidraçado. Nesta simulação considerou-se que todos os envidraçados utilizam vidro plano duplo incolor de 4mm+4mm e caixilharia de alumínio sem quadrícula de classe 1, que implica os fatores presentes na Tabela 26.

Tabela 26 - Fatores dos envidraçados presentes no apartamento-modelo

	<i>Janelas NE</i>		<i>Porta para varanda SE</i>	
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
F_g	0,7	0,7	0,7	0,7
F_w	0,9	0,85	0,9	0,9

Em relação às proteções dos envidraçados considerou-se que as janelas possuem persianas de réguas plásticas exteriores com uma cor clara e a porta para a varanda utiliza um estore de lâminas interior também este com uma cor clara, obtendo então os valores dos fatores solares, g_{\perp} , e os valores dos coeficientes de transferências de calor, U , para os envidraçados com e sem a proteção ativa, indicados na Tabela 27.

Tabela 27 – Valores para os envidraçados com e sem proteção ativa

	<i>Janelas NE</i>		<i>Porta para varanda SE</i>	
	Aberta	Fechada	Aberta	Fechada
g_{\perp}	0,78	0,04	0,78	0,47
U	4,5	1,7	4,3	2,9

Também seria necessário a introdução das resistências das paredes, mas como a aplicação se destina a ser utilizada pelos habitantes do apartamento, habitantes estes que na maioria das ocasiões, não terão conhecimento do tipo de isolamento das paredes envolventes, isso implica a necessidade de estimar a resistência total de cada parede envolvente.

Com base nas equações de conservação de energia e tirando partido dos sensores de temperatura obtém-se um sistema de equações para cada divisão. Neste caso, o quarto, onde se consegue definir os vários coeficientes de transferência de calor em função das variações de temperatura. De modo a não complicar o sistema, define-se que os sistemas de proteção dos envidraçados se encontram ativados.

Definindo a existência de apenas dois tipos diferentes de paredes envolventes, interiores, R_{int} , e exteriores, R_{ext} , estabelece-se que o pavimento e o teto terão a mesma resistência que as paredes exteriores, sendo que as resistências superficiais se retiram pela Tabela 1. Considerando estas premissas pode-se então estimar os seus valores através da variação da temperatura da divisão em questão, e da temperatura das divisões envolventes.

Para simular a sua aplicação no apartamento-modelo é necessário ter conhecimento da variação da temperatura interior de cada divisão. Para isso, definiram-se os valores iniciais para as resistências de cada parede e ao serem obtidos os valores da temperatura de cada divisão, reverte-se o processo para se estimar as resistências.

Utilizando os valores obtidos para a temperatura de cada divisão ao longo de 24 horas e mantendo as mesmas condições climáticas da simulação anterior, estimou-se os valores da resistência das paredes exteriores e interiores, presentes na Tabela 28.

Tabela 28 – Valores de resistências, definidas e modeladas para a envolvente

	R_j , definida	R_j , modelada
<i>Paredes interiores</i>	0,406	0,41
<i>Paredes exteriores</i>	1,58	1,51
<i>Pavimentos e coberturas</i>	1,38	1,51

4.3.1 Simulação dos ganhos solares

Com as características da envolvente de cada divisão, o tipo de paredes utilizadas (R_{ext} e R_{int} estimados anteriormente), o vidro das janelas, a razão de renovação de ar e os fatores de sombreamento já identificados torna-se possível analisar as várias parcelas que influenciam a temperatura de cada divisão e se possível altera-las para uma situação mais proveitosa.

Para analisar a evolução da temperatura de cada divisão e a influência dos estores na mesma ao longo de diferentes períodos de um ano, foram selecionados 8 dias distintos, sendo 4 os equinócios e os solstícios que representam o começo e fim das várias estações do ano e os outros 4 o pico de cada estação.

Como a influência da radiação solar será semelhante em divisões com envidraçados virados para a mesma fachada, seria redundante a análise de todas as divisões, por tal realiza-se a análise apenas a evolução da temperatura no quarto e na cozinha, pois esta tem duas fachadas envidraçadas.



Figura 11 - Divisões modelo em análise

A simulação foi realizada no EES: Engineering Equation Solver, através do modelo matemático presente anteriormente para cada divisão, sendo que a simulação para o quarto segue o diagrama da Figura 12, sendo que as outras divisões seguem um modelo semelhante.

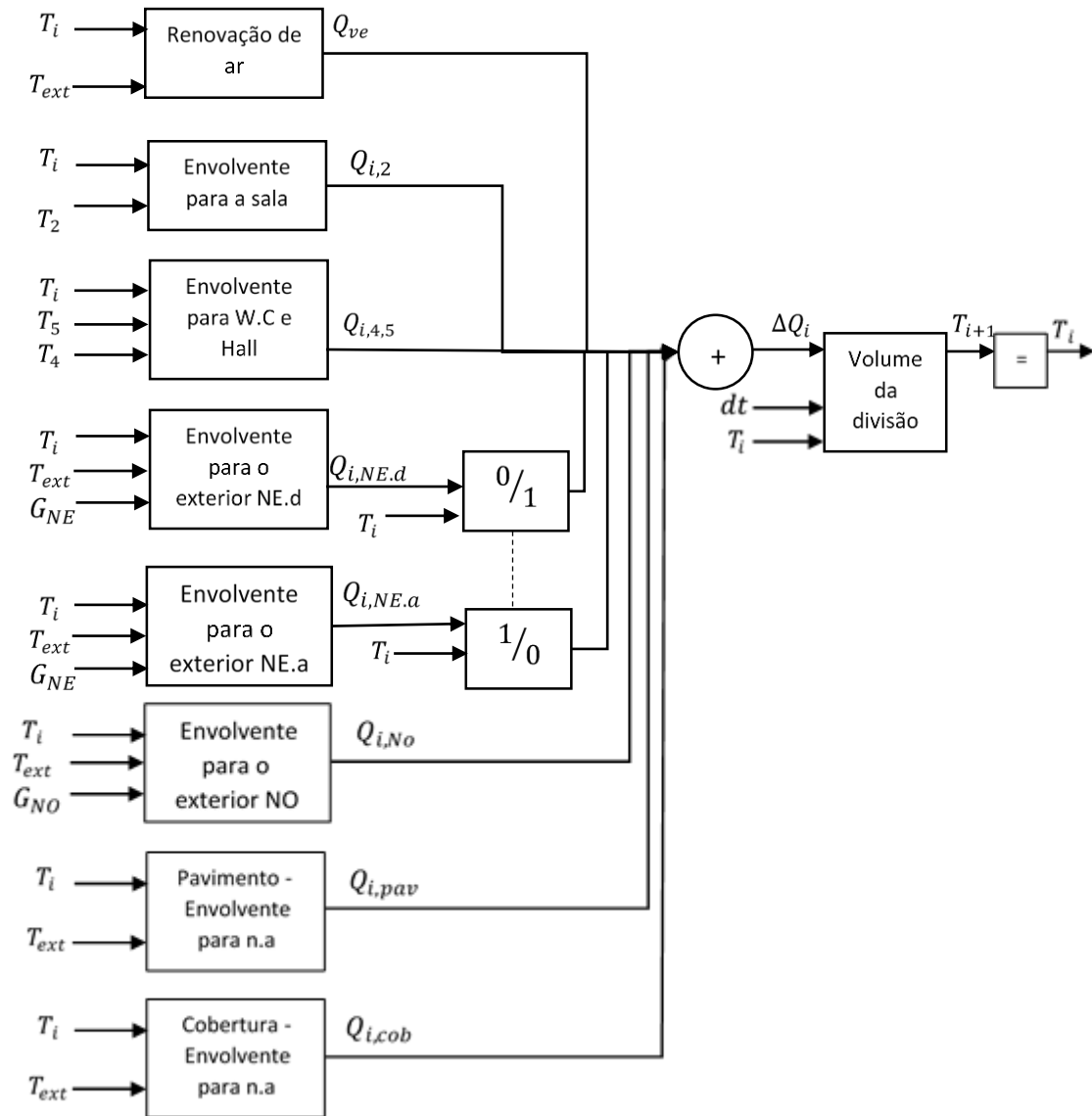


Figura 12 - Diagrama de blocos para a simulação da temperatura no quarto

A primeira simulação foi realizada para o equinócio de março, dia 20 (estação de aquecimento), analisa-se a evolução da temperatura dentro de cada divisão e quando se consegue aproveitar os ganhos solares pelos envidraçados, através da utilização das respetivas proteções.

Sempre que a abertura da proteção promova um aumento ou uma menor redução da temperatura da divisão, essa será desativada, obtendo-se a variação de temperatura para o quarto presente na Figura 13 e para a cozinha na Figura 14 e Figura 15.

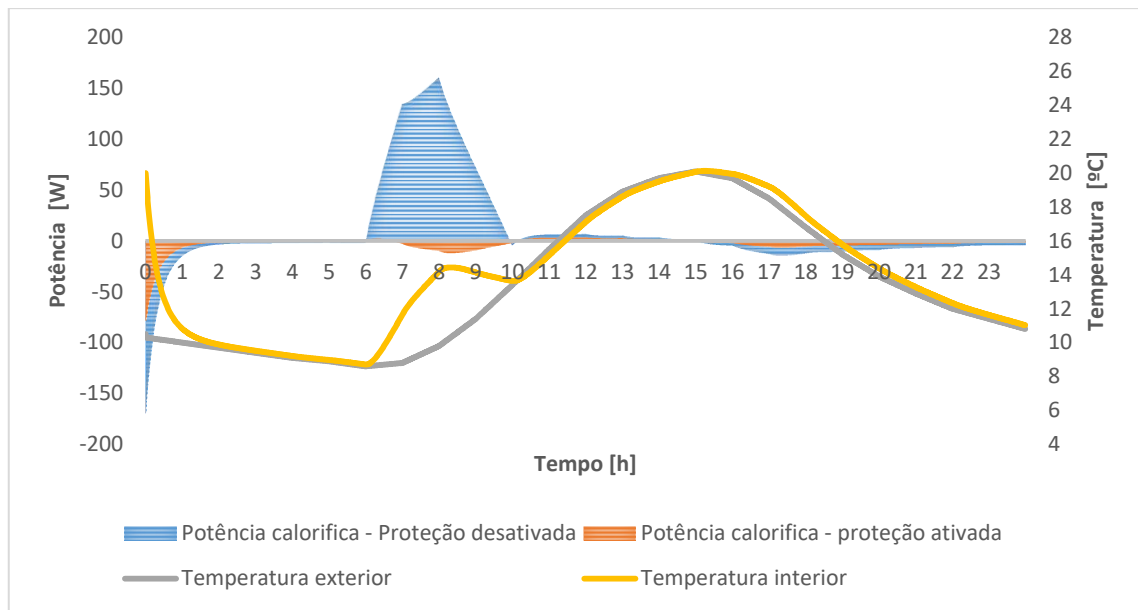


Figura 13 - Evolução da temperatura do Quarto no dia 20 de Março

Identifica-se pela Tabela 29 os momentos em que a alteração do estado da proteção terá uma influência positiva no aquecimento da divisão.

Tabela 29 - Valores dos ganhos solares para o Quarto no dia 20 de Março no período de incidência solar com ou sem proteção [W]

Horas		6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00
Proteção solar	Aberta	-2	73	135	144	160	111	72	34	-5
	Fechada	-1	1	-3	-7	-9	-11	-9	-6	-2

Como a cozinha possui vãos envidraçados em diferentes fachadas não só existe um aumento dos ganhos totais de energia através destes mas também um maior período de tempo com incidência solar, Figura 14 e Figura 15.

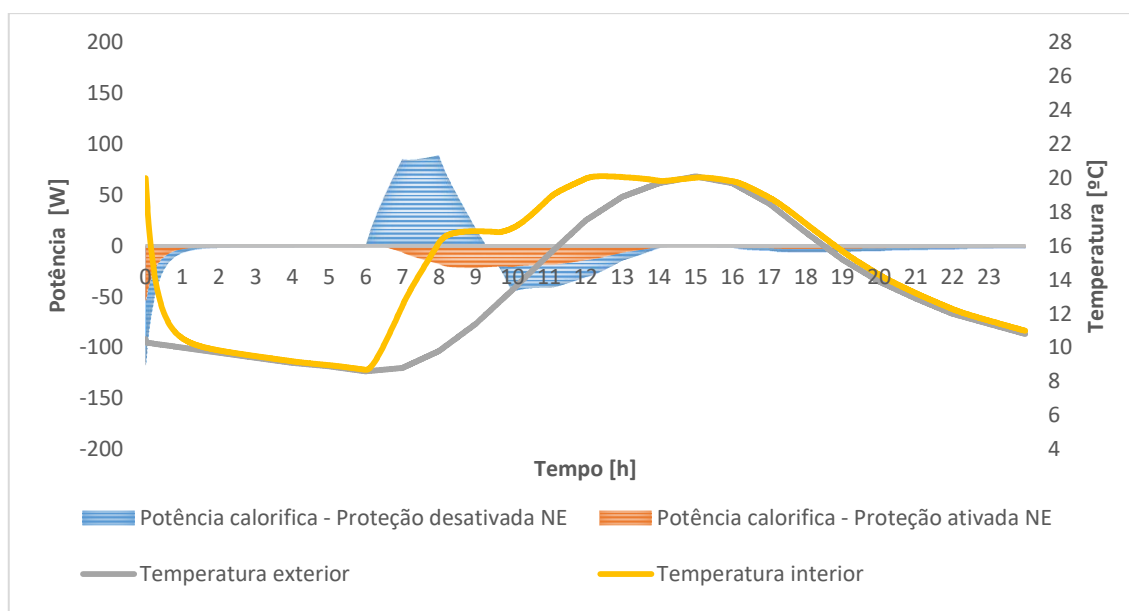


Figura 14 - Evolução da temperatura da Cozinha no dia 20 de março, com a potência calorífica por NE

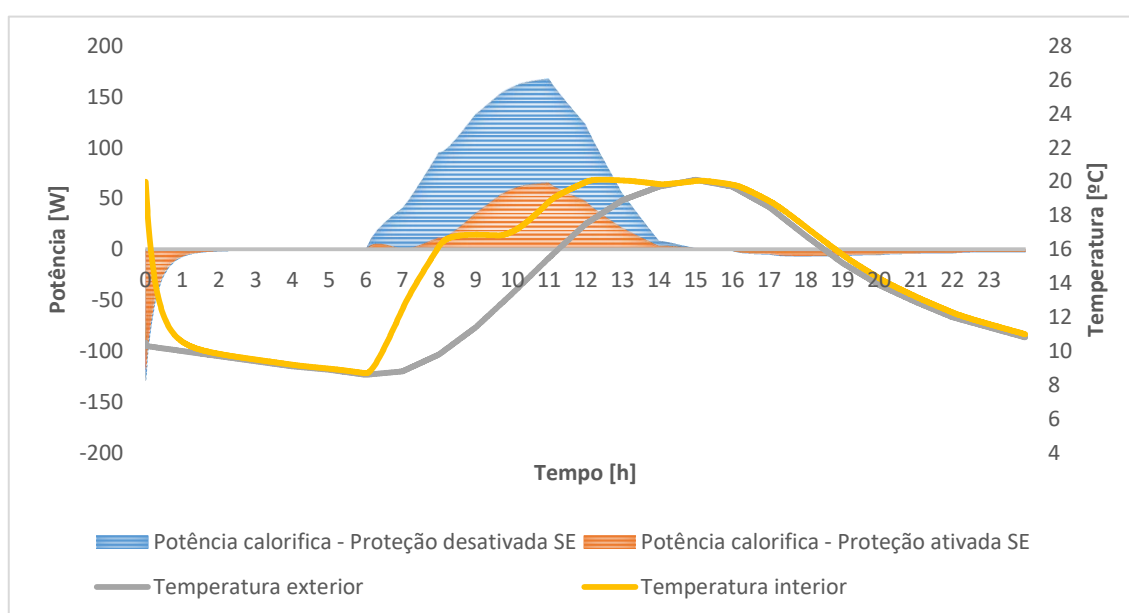


Figura 15 - Evolução da temperatura da Cozinha no dia 20 de março, com a potência calorífica por SE

Numa situação oposta realizou-se a simulação no dia 5 de agosto (estação de arrefecimento), sem um sistema de arrefecimento, para se analisar a redução dos ganhos de energia através da ativação dos sistemas de proteção dos envidraçados, presente na Figura 16

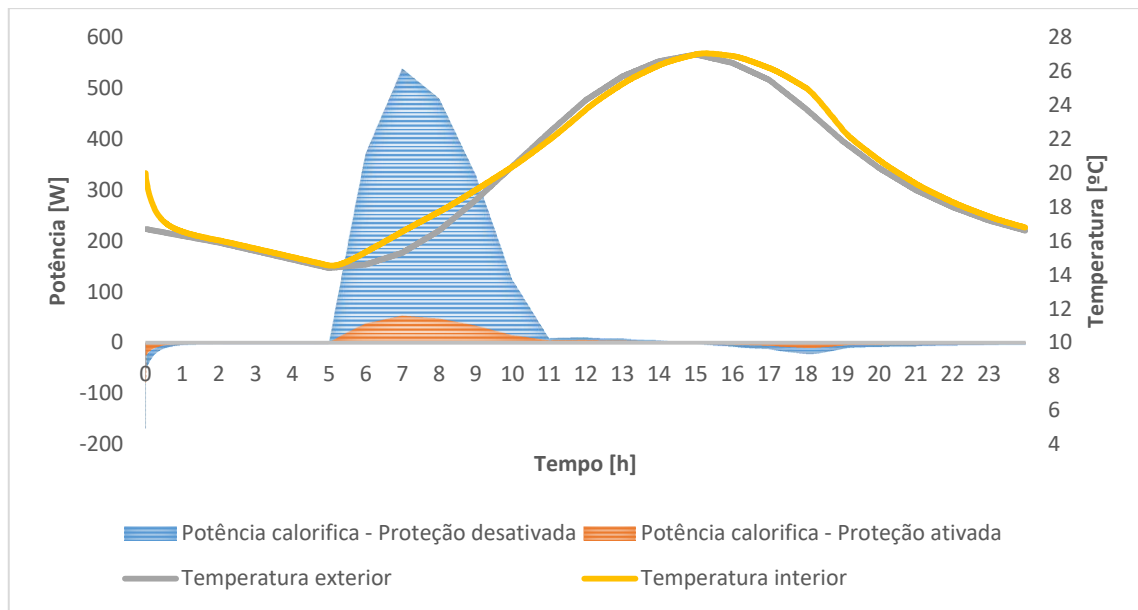


Figura 16 – - Evolução da temperatura do Quarto no dia 5 de agosto

Contrariamente ao que ocorreu na estação de aquecimento, na qual a cozinha conseguia tirar partido de ter vãos envidraçados para duas orientações, na estação de arrefecimento essa situação tornasse uma desvantagem, sendo que os ganhos térmicos mesmo com as proteções solares ativadas provocam um aumento considerado da temperatura interior, Figura 17 e Figura 18.

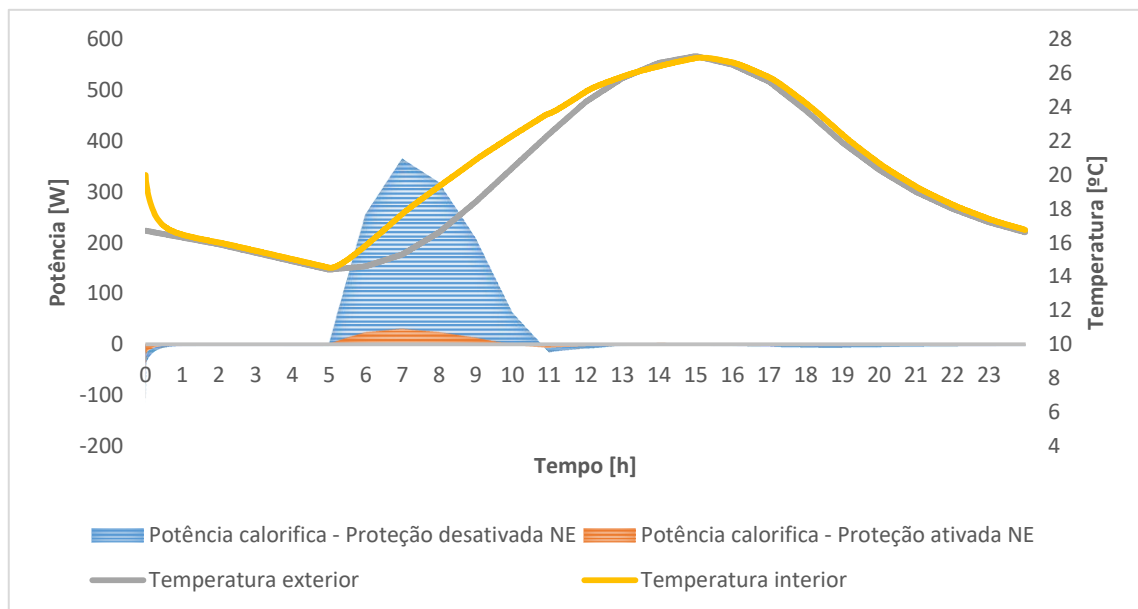


Figura 17 - Evolução da temperatura da Cozinha no dia 5 de Agosto

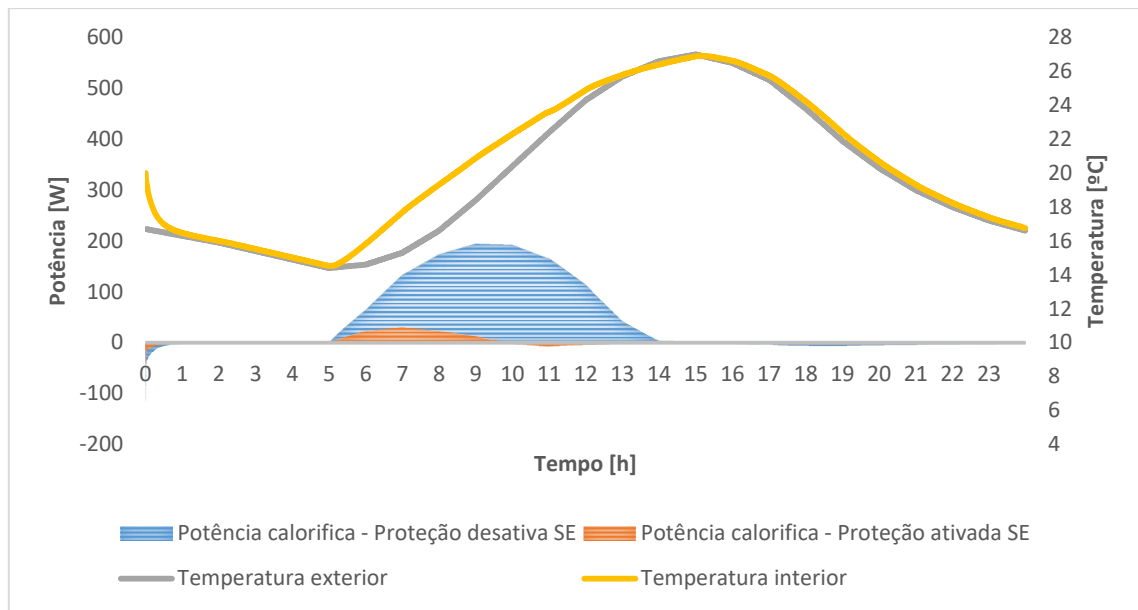


Figura 18 - Evolução da temperatura da Cozinha no dia 5 de Agosto

4.3.2 Simulação com aquecimento

Considerando uma situação real, a habitação necessita de ter a temperatura controlada. Para tal definiu-se como temperatura ideal $T=20^{\circ}\text{C}$ no período do dia em que a habitação/quarto estará a ser utilizada, ou seja entre as 19h e as 9h. Assim sendo, irá utilizar-se um equipamento de ar condicionado instalado no quarto com uma potência máxima de 2500W de aquecimento e 2600W de arrefecimento.

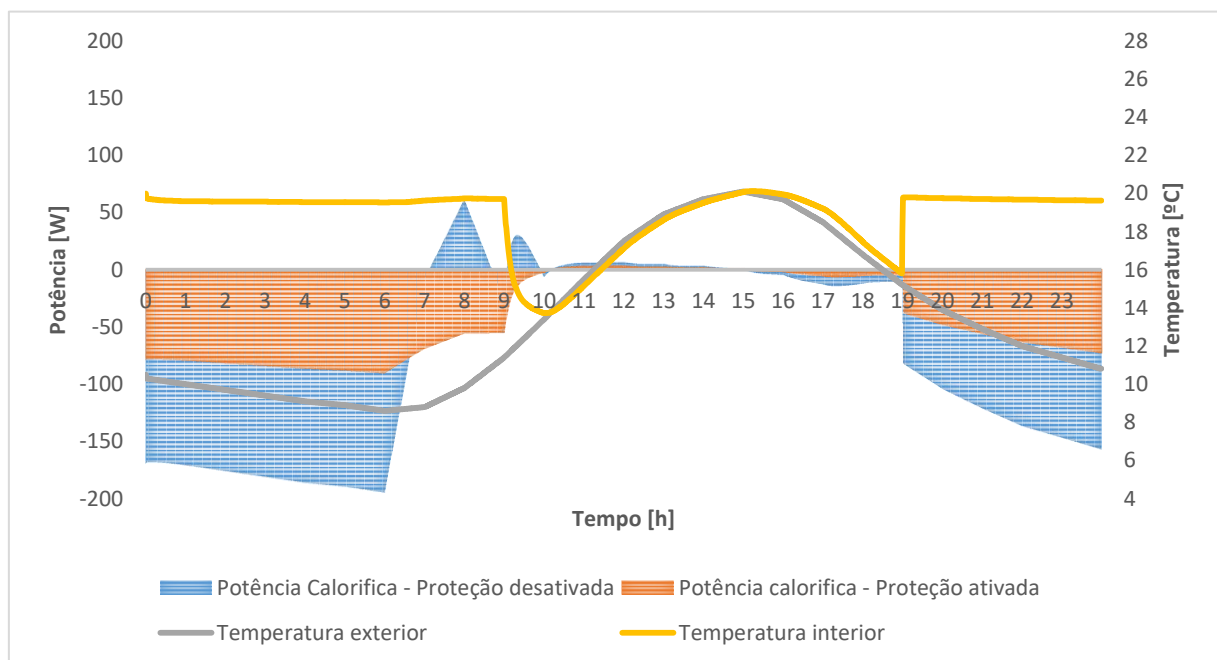


Figura 19 – Evolução da temperatura no Quarto com o efeito do ar condicionada, em Março

Nesta simulação determinou-se que o ar condicionado só será ativado a partir das 19h e depois regula a sua potência, Figura 20, de forma a manter uma temperatura constante até as 9h do dia seguinte.

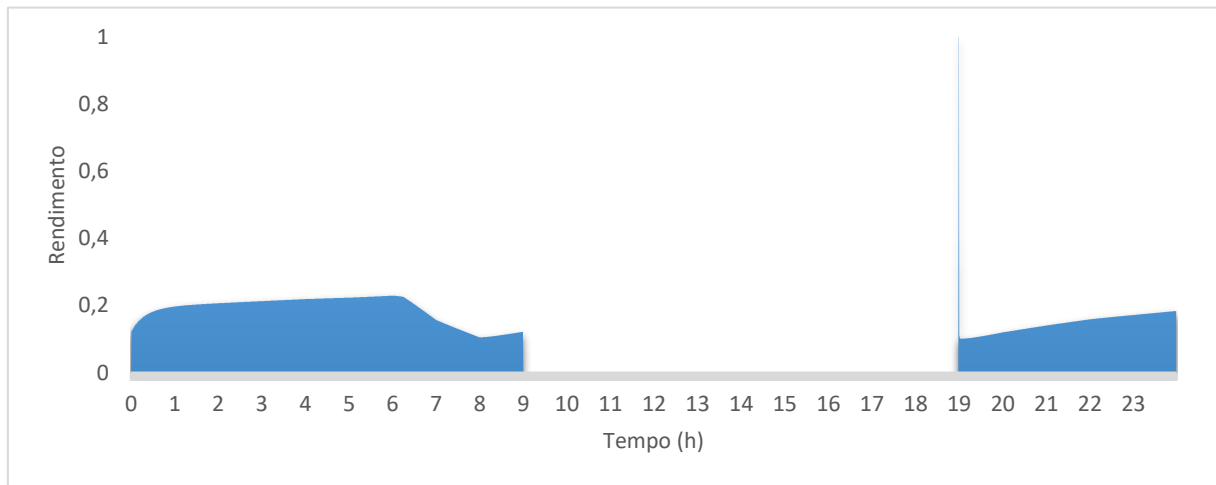


Figura 20 – Rendimento do ar condicionada em Março

É de notar que existe uma diminuição da potência do aquecimento no período em que existe radiação solar incide na fachada, entre as 7h e as 9h.

Realizando outra simulação com as condições anteriores, mas desta vez para o dia 5 de agosto, Figura 21, na qual se pode constatar que devidas as horas de utilização definidas continua a existir uma necessidade de aquecer a divisão na maioria do período em questão, mesmo sendo a simulação realizada na estação de arrefecimento.

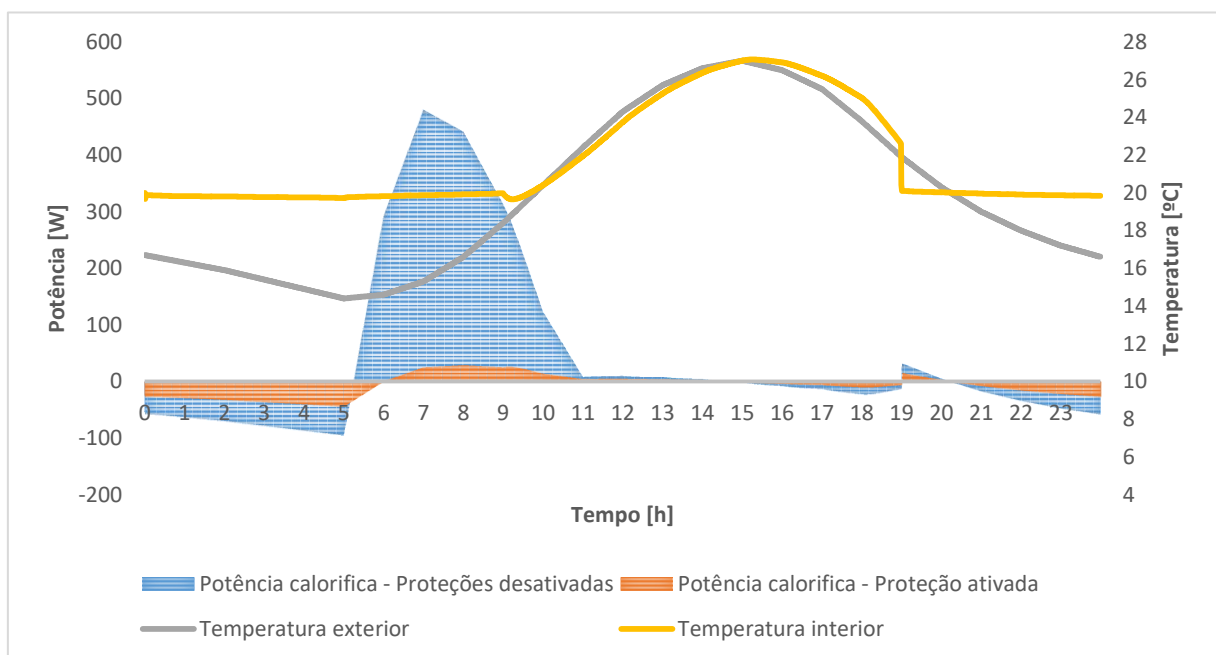


Figura 21 – Evolução da temperatura no Quarto com o efeito do ar condicionado, em Agosto

Tal como se verificou na simulação de março, ocorrem variações na potência debitada pelo ar condicionada ao longo do dia, havendo uma diminuição mais repentina no período em que existe radiação solar incidente, 5h as 9h, Figura 22

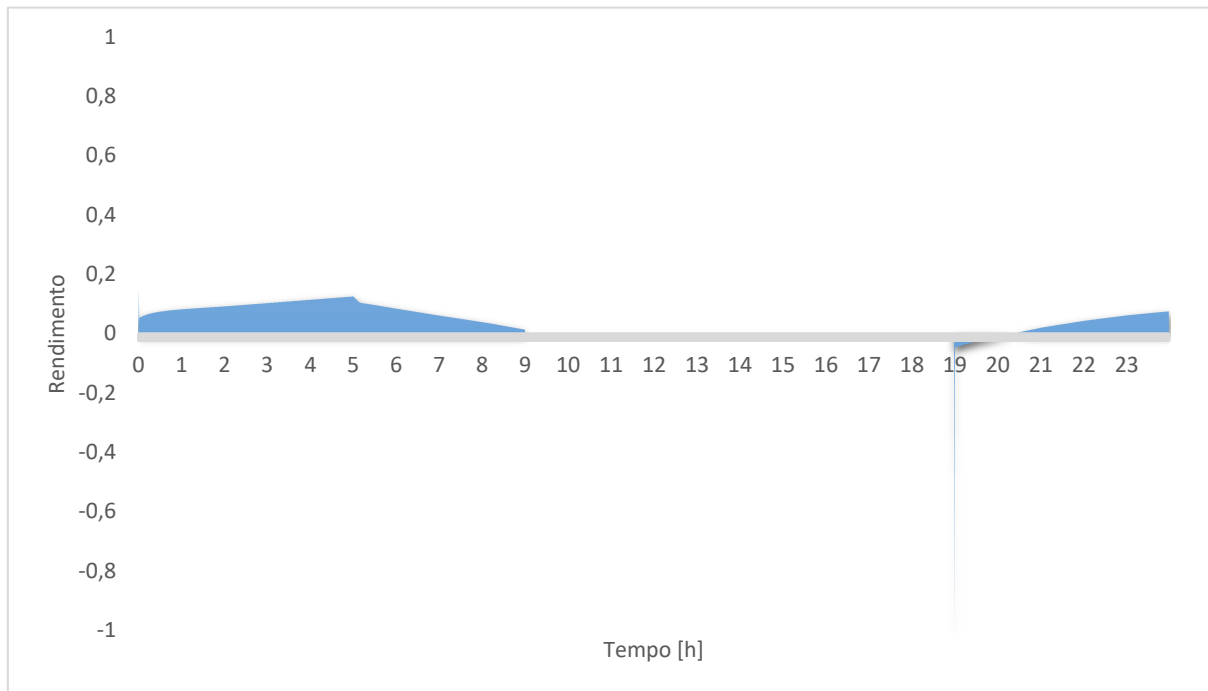


Figura 22 – Rendimento do ar condicionada em Agosto

5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Nesta dissertação realizou-se uma compilação sobre a informação pertinente relativa à projeção térmica de edifícios, de modo a serem obtidos os vários parâmetros que influenciam o desempenho térmico de um edifício.

O modelo para a “calibração” do sistema, e estimar a resistência das paredes envolventes de cada divisão implica a simplificação das várias componentes da envolvente, pelo que não se contabilizam pontes térmicas homogeneizando-se assim cada superfície. Reduzem-se as resistências das paredes para apenas duas, interiores e exteriores, podendo provocar um erro no cálculo da transferência de calor na superfície, sendo que o valor global das resistências da envolvente de cada divisão não se afastará do valor real.

A execução da uma simulação de um apartamento-modelo no qual se consegue obter para cada divisão do mesmo os vários ganhos e perdas de energia através de cada secção da envolvente através da temperatura de cada divisão e da radiação incidente em cada fachada não só permitindo identificar as maiores influências para a variação da temperatura dessa divisão como também pode ser reproduzido numa situação real com o uso de sensores.

A identificação dos ganhos das fachadas envidraçadas com ou sem a proteção ativa permite programar essas proteções de modo a obter-se o valor mais benéfico para se alcançar a temperatura pretendida, tendo uma maior influência na estação de aquecimento, onde através dos ganhos solares se consegue aumentar a temperatura da divisão, comparativamente à de arrefecimento, onde a proteção apenas consegue reduzir os ganhos solares para a divisão.

Ao considerar-se a aplicação de um sistema de climatização, obtém-se por simulação, uma aproximação do que será esperado que aconteça numa utilização real do sistema de análise térmica, onde a programação das proteções dos envidraçados tem apenas um efeito complementar, reduzindo a energia gasta pelo sistema de climatização.

Assim, como recomendação para um trabalho futuro fica a sugestão de se averiguar o erro provocado na “calibração” num caso real e analisar o impacto dos vários parâmetros simulados em outras localizações e orientações, de modo a ser aperfeiçoado o sistema.

Referências

ADENE. (2017) Agencia para a energia – SCE. Ultimo acesso: Agosto 2017.<http://www.adene.pt/sce>

Almeida, M.Guedes de, 1995, "Simulação Térmica de Edifícios com um Modelo Numérico de Capacidade Térmica Variável", Dissertação apresentada à FEUP para obtenção do grau de Doutora em Eng.^a Mecânica, Universidade do Porto. Ultimo acesso: Maio de 2017. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11608>

ASHRAE. 2009. “Fundamentals Handbook”

Camelo, S., Santos, C., Ramalho, A., Horta, C., Gonçalves, H., Maldonado, E. 2006. Manual de Apoio à Aplicação do RCCTE. INETI.

Dona. (2017). “Dona - Domotics new applications”.Ultimo acesso: agosto 2017. <http://dona.life/pt/domotica/>

Matias, Luis, Carlos Santos. 2006. Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Lisboa: LNEC. (ITE; 50)

McQuiston, Faye C. 2000. Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design 5th edition

Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-lei 80/2006, de 4 de Abril.

Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), Decreto-Lei 232/2013, de 29 de Novembro

Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), Decreto-Lei 234/2013, de 3 de Dezembro

Silva, Pedro, Manuela Almeida, Luís Bragança, Vasco Mesquita. 2009. Methodology to Enhance the Portuguese Thermal Regulation Accuracy for Existing Buildings. Artigo apresentado na 11^a Conferência Internacional da IBPSA. Glasgow, Scotland J. Ultimo acesso: Abril de 2017. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_0576_583.pdf

SISLITE. (2016). “SISLITE – Integração de sistemas”. Ultimo acesso: Setembro de 2017.<http://www.sislite.pt/domus.htm>

Bibliografia

Lobão, R., (2004). Modelo Simplificado de Previsão do Comportamento Térmico de Edifícios. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na Universidade do Minho.

ANEXO A: Zonas climáticas em Portugal

O zonamento climático do País baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III que divide o país em várias em várias zonas consoante os municípios, considerando a radiação solar global na horizontal, G_h por zona climática conforme a Tabela A1.

Tabela A1 – Zonamento climático de Portugal e radiação solar global na horizontal por zona [kWh/m²]

NUTS III	Municípios	G_h
<i>Minho-Lima</i>	Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira	1550
<i>Alto Trás-os-Montes</i>	Alfândega da Fé, Boticas, Bragança, Chaves, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vimioso, Vinhais	1550
<i>Cávado</i>	Amares, Barcelos, Braga, Esposende, Terras de Bouro, Vila Verde	1560
<i>Ave</i>	Cabeceiras de Basto, Fafe, Guimarães, Mondim de Basto, Póvoa de Lanhoso, Vieira do Minho, Vila Nova de Famalicão, Vizela	1560
<i>Grande Porto</i>	Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Valongo, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia	1590
<i>Tâmega</i>	Amarante, Baião, Castelo de Paiva, Celorico de Basto, Cinfães, Felgueiras, Lousada, Marco de Canaveses, Paços de Ferreira, Paredes, Penafiel, Resende	1590
<i>Douro</i>	Alijó, Armamar, Carraceda de Ansiães, Freixo de Espada à Cinta, Lamego, Mesão Frio, Moimenta da Beira, Murça, Penedono, Peso da Régua, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, São João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Tarouca, Torre de Moncorvo, Vila Nova de Foz Coa, Vila Real	1580
<i>Entre Douro e Vouga</i>	Arouca, Oliveira de Azeméis, Santa Maria da Feira, São João da Madeira, Vale de Cambra	1610
<i>Baixo Vouga</i>	Águeda, Albergaria-a-Velha, Anadia, Aveiro, Estarreja, Ílhavo, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar, Sever do Vouga, Vagos	1625
<i>Baixo Mondego</i>	Cantanhede, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Figueira da Foz, Mealhada, Mira, Montemor-o-Velho, Mortágua, Penacova, Soure	1650
<i>Beira Interior Norte</i>	Almeida, Celorico da Beira, Figueira de Castelo Rodrigo, Guarda, Manteigas, Mêda, Pinhel, Sabugal, Trancoso	1620
<i>Beira Interior Sul</i>	Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Penamacor, Vila Velha de Ródão	1665
<i>Cova da Beira</i>	Belmonte, Covilhã, Fundão	1650
<i>Serra da Estrela</i>	Fornos de Algodres, Gouveia, Seia	1635
<i>Dão - Lafões</i>	Aguiar da Beira, Carregal do Sal, Castro Daire, Mangualde, Nelas, Oliveira de Frades, Penalva do Castelo, Santa Comba Dão, São Pedro do Sul, Sátão, Tondela, Vila Nova de Paiva, Viseu, Vouzela	1615
<i>Pinhal Interior Norte</i>	Alvaiázere, Ansião, Arganil, Castanheira de Pera, Figueiró dos Vinhos, Góis, Lousã, Miranda do Corvo, Oliveira do Hospital, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penela, Tábua, Vila Nova de Poiares	1555

<i>NUTS III</i>	<i>Municípios</i>	<i>G_h</i>
<i>Pinhal Interior Sul</i>	Oleiros, Proença-a-Nova, Sertão, Vila de Rei	1675
<i>Pinhal Litoral</i>	Batalha, Leiria, Marinha Grande, Pombal, Porto de Mós	1680
<i>Oeste</i>	Alcobaça, Alenquer, Arruda dos Vinhos, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Peniche, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras	1695
<i>Médio Tejo</i>	Abrantes, Alcanena, Constância, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Mação, Ourém, Sardoal, Tomar, Torres Novas, Vila Nova da Barquinha	1690
<i>Lezíria do Tejo</i>	Almeirim, Alpiarça, Azambuja, Benavente, Cartaxo, Chamusca, Coruche, Golegã, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santarém	1705
<i>Grande Lisboa</i>	Amadora, Cascais, Lisboa, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras, Sintra, Vila Franca de Xira	1725
<i>Península de Setúbal</i>	Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra, Setúbal	1735
<i>Alto Alentejo</i>	Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Marvão, Monforte, Mora, Nisa, Ponte de Sôr, Portalegre	1710
<i>Alentejo Central</i>	Alandroal, Arraiolos, Borba, Estremoz, Évora, Montemor-o-Novo, Mourão, Portel, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Sousel, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vila Viçosa	1735
<i>Alentejo Litoral</i>	Alcácer do Sal, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém, Sines	1770
<i>Baixo Alentejo</i>	Aljustrel, Almodôvar, Alvito, Barrancos, Beja, Castro Verde, Cuba, Ferreira do Alentejo, Mértola, Moura, Ourique, Serpa, Vidigueira	1780
<i>Algarve</i>	Albufeira, Alcoutim, Aljezur, Castro Marim, Faro, Lagoa, Lagos, Loulé, Monchique, Olhão, Portimão, S. Brás de Alportel, Silves, Tavira, Vila do Bispo, Vila Real de Santo António	1820

Adicionalmente, são definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3) para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente.

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias, GD, na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento, conforme a Tabela A2, e estão representadas graficamente na Figura .

Tabela A2 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno

<i>Critério</i>	<i>GD > 1300</i>	<i>1300 < GD < 1800</i>	<i>GD > 1800</i>
<i>Zona</i>	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), conforme a Tabela A3 e estão representadas graficamente na Figura A1.

Tabela A3 - Critérios para a determinação da zona climática de verão

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

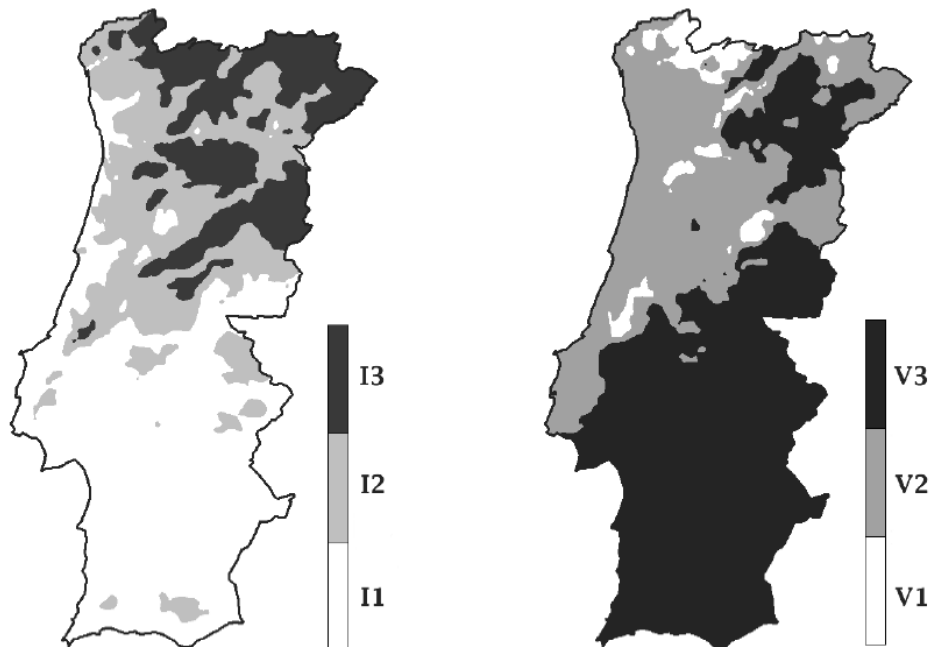


Figura A1 – Zonas climáticas de verão e inverno

Os valores de cada parâmetro climático, X , associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência X_{REF} para cada zona climática e ajustados com base na altitude desse local, z , pela equação A1.

$$X = X_{REF} + a(z - z_{REF}) \quad (A1)$$

Os parâmetros climáticos pertinentes para a estação de aquecimento (inverno) são os seguintes:

GD - Número de graus-dias, na base de 18°C , correspondente à estação convencional de aquecimento [$^{\circ}\text{C}$];

M - Duração da estação de aquecimento [mês];

$\theta_{ext,i}$ - Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento [°C];

G_{Sul} - Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, [kWh/m².mês]

Tabela A4 – Valores de referência para a estação de aquecimento

	z	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G_{Sul}
	REF m	REF mês	α mês/km	REF °C	α °C/km	REF °C	α °C/km	
<i>Minho-Lima</i>	268	7,2	1	1629	1500	8,2	-5	130
<i>Alto Trás-os-Montes</i>	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125
<i>Cávado</i>	171	6,8	1	1491	1300	9,0	-6	125
<i>Ave</i>	426	7,2	0	1653	1500	7,8	-6	125
<i>Grande Porto</i>	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130
<i>Tâmega</i>	320	6,7	0	1570	1600	7,8	-5	135
<i>Douro</i>	579	6,9	0	1764	1400	6,3	-4	135
<i>Entre Douro e Vouga</i>	298	6,9	1	1544	1400	8,4	-5	135
<i>Baixo Vouga</i>	50	6,3	2	1337	1100	9,5	-5	140
<i>Baixo Mondego</i>	67	6,3	0	1304	1000	9,7	-5	140
<i>Beira Interior Norte</i>	717	7,5	0	1924	1000	6,3	-3	135
<i>Beira Interior Sul</i>	328	5,4	1	1274	1800	9,1	-6	140
<i>Cova da Beira</i>	507	7,1	0	1687	1400	7,5	-5	140
<i>Serra da Estrela</i>	553	7,5	0	1851	1600	7,0	-5	135
<i>Dão - Lafões</i>	497	7,3	0	1702	1900	7,5	-6	135
<i>Pinhal Interior Norte</i>	361	6,8	0	1555	1600	8,3	-5	140
<i>Pinhal Interior Sul</i>	361	6,7	1	1511	1500	8,4	-4	145
<i>Pinhal Litoral</i>	126	6,6	0	1323	1900	9,6	-5	140
<i>Oeste</i>	99	5,6	0	1165	2200	10,3	-8	145
<i>Médio Tejo</i>	168	5,9	0	1330	1300	9,5	-4	145
<i>Lezíria do Tejo</i>	73	5,2	3	1135	2700	10,2	-7	145
<i>Grande Lisboa</i>	109	5,3	3	1071	1700	10,8	-4	150
<i>Península de Setúbal</i>	47	4,7	0	1045	1500	10,7	-4	145
<i>Alto Alentejo</i>	246	5,3	2	1221	1200	9,6	-3	145
<i>Alentejo Central</i>	221	5,3	2	1150	1100	10,0	-4	150
<i>Alentejo Litoral</i>	88	5,3	2	1089	1100	10,8	-2	150
<i>Baixo Alentejo</i>	178	5,0	0	1068	1000	10,7	-2	155
<i>Algarve</i>	145	4,8	0	987	1800	11,3	-6	155

Os parâmetros climáticos pertinentes para a estação de arrefecimento (verão) são os seguintes:

L_v - Duração da estação = 4 meses = 2928 horas

$\theta_{ext,v}$ - Temperatura exterior média, [°C]

I_{sol} - Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, [kWh/m²]

Tabela A5 – Valores de referência para a estação de aquecimento

	z		$\theta_{ext,v}$	a	I_{sol} kWh/m^2 acumulados de junho a setembro							
	REF m	REF			$^{\circ}C/km$	0	90º N	90º NE	90º E	90º SE	90º S	90º SO
<i>Minho-Lima</i>	268	20,5	-4	785	220	345	475	485	425	485	475	345
<i>Alto Trás-os-Montes</i>	680	21,5	-7	790	220	345	480	485	425	485	480	345
<i>Cávado</i>	171	20,7	-3	795	220	345	485	490	425	490	485	345
<i>Ave</i>	426	20,8	-3	795	220	350	490	490	425	490	490	350
<i>Grande Porto</i>	94	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350
<i>Tâmega</i>	320	21,4	-3	800	220	350	490	490	425	490	490	350
<i>Douro</i>	579	22,7	-6	805	220	350	490	490	420	490	490	350
<i>Entre Douro e Vouga</i>	298	20,6	-3	805	220	350	490	490	425	490	490	350
<i>Baixo Vouga</i>	50	20,6	-2	810	220	355	490	490	420	490	490	355
<i>Baixo Mondego</i>	67	20,9	0	825	225	360	495	495	420	495	495	360
<i>Beira Interior Norte</i>	717	21,7	-5	820	220	355	495	500	425	500	495	355
<i>Beira Interior Sul</i>	328	25,3	-7	830	220	360	500	495	420	495	500	360
<i>Cova da Beira</i>	507	22,5	-6	825	225	360	495	495	425	495	495	360
<i>Serra da Estrela</i>	553	21,0	-4	820	225	355	495	495	420	495	495	355
<i>Dão - Lafões</i>	497	21,2	-3	815	220	355	495	490	415	490	495	355
<i>Pinhal Interior Norte</i>	361	21,2	-2	825	220	357	500	495	420	495	500	357
<i>Pinhal Interior Sul</i>	361	22,4	-3	830	225	360	500	500	420	500	500	360
<i>Pinhal Litoral</i>	126	20,1	-2	830	225	360	500	495	415	495	500	360
<i>Oeste</i>	99	21,0	0	830	225	360	500	495	415	495	500	360
<i>Médio Tejo</i>	168	22,1	-7	835	220	360	500	495	415	495	500	360
<i>Lezíria do Tejo</i>	73	23,1	-6	835	225	365	500	495	410	495	500	365
<i>Grande Lisboa</i>	109	21,7	-10	840	225	365	500	495	410	495	500	365
<i>Península de Setúbal</i>	47	22,8	-5	845	225	365	505	495	410	495	505	365
<i>Alto Alentejo</i>	246	24,5	0	845	225	365	505	500	415	500	505	365
<i>Alentejo Central</i>	221	24,3	0	850	225	370	510	500	415	500	510	370
<i>Alentejo Litoral</i>	88	22,2	0	850	225	365	510	495	405	495	510	365
<i>Baixo Alentejo</i>	178	24,7	0	855	225	370	510	495	405	495	510	370
<i>Algarve</i>	145	23,1	0	865	225	375	515	500	405	500	515	375

ANEXO B: Metodologia para o cálculo das perdas e ganhos

Estação de Aquecimento

Ao longo da estação de aquecimento e devido à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, a transferência de calor por transmissão global, que ocorre através da envolvente, traduz-se em perdas de calor calculadas de acordo com a equação B1.

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \quad (B1)$$

Onde,

GD - Número de graus-dias de aquecimento especificados para cada região NUTS III, [°C.dia]

$H_{tr,i}$ - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, [W/°C]

As perdas de calor por ventilação correspondentes à renovação do ar interior durante a estação de aquecimento são calculadas de acordo com a equação B2.

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i} \quad (B2)$$

Onde,

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d \quad (B3)$$

Em que,

$R_{ph,i}$ - Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento, [h-1]

A_p - Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m²]

P_d - Pé direito médio da fração, [m]

$H_{ve,i}$ - Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [W/°C]

Os ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de aquecimento do edifício têm duas origens, conforme equação B4.

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (B4)$$

Em que,

$Q_{int,i}$ - Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, [kWh]

$Q_{sol,i}$ - Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, [kWh]

Com exclusão do sistema de aquecimento, os ganhos térmicos internos incluem qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, nomeadamente, os ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes, e o calor dissipado dos vários equipamentos.

Os ganhos térmicos internos são calculados, durante toda a estação de aquecimento, de acordo com a seguinte equação B5.

$$Q_{int,i} = 0,72 \cdot q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad (B5)$$

Em que,

q_{int} - Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a 4 W/m²

M - Duração média da estação convencional de aquecimento, [mês]

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²]

Para efeitos regulamentares, o cálculo dos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento deve ser efetuado de acordo com a metodologia abaixo indicada e na qual os ganhos solares são calculados de acordo com a seguinte equação B6.

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \sum_n A_{s,i_{nj}} \cdot F_{s,i_{nj}} \right] \cdot M \quad (B6)$$

Em que,

G_{sul} - Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície, [kWh/m².mês]

X_j - Fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a Tabela B1.

$F_{s,i_{nj}}$ - Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento

$A_{s,i_{nj}}$ - Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j , [m²]

j - Índice que corresponde a cada uma das orientações

n - Índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j

M - Duração média da estação convencional de aquecimento, [mês]

Tabela B1 - Fator de orientação para as diferentes exposições X_j

Orientação do vão (j)	N	NE/NO	S	SE/SO	E/O	Horizontal
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

O fator de utilização dos ganhos térmicos é obtido em função da inércia térmica do edifício e da relação, γ , entre os ganhos brutos e perdas térmicas totais, equação B7.

$$\gamma = \frac{Q_{g,i}}{Q_{tr,i} + Q_{ve,i}} \quad (B7)$$

Conhecendo a relação, γ , calcula-se o fator de utilização, η_i , através das equações B8.

$$\begin{cases} \eta_i = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \text{ se } \gamma \neq 1 \\ \eta_i = \frac{a}{1+a} \text{ se } \gamma = 1 \end{cases} \quad (B8)$$

Em que os valores de, a , dependem da inércia térmica e estão apresentados na Tabela B2.

Tabela B2 – Valores da incógnita, a , em função da inércia térmica do edifício

Inércia térmica do edifício	a
<i>Fraca</i>	1,8
<i>Media</i>	2,6
<i>Forte</i>	4,2

Estação de arrefecimento

A transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente calcula-se de acordo com a equação B9.

$$Q_{tr,v} = \frac{H_{tr,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \cdot L_v}{1000} \quad (B9)$$

Em que,

$H_{tr,v}$ - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, [W/°C]

$\theta_{v,ref}$ - Temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento, igual a 25 °C

$\theta_{v,ext}$ - Temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento, [°C]

L_v - Duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas

A transferência de calor correspondente à renovação de ar interior durante a estação de arrefecimento, $Q_{ve,v}$ é calculada de acordo com a equação B10.

$$Q_{ve,v} = \frac{H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \cdot L_v}{1000} \quad (B10)$$

Os ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento do edifício são obtidos pela soma de duas parcelas, conforme a seguinte equação B11.

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad (B11)$$

Em que,

$Q_{int,v}$ - Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor

$Q_{sol,v}$ - Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada

Os ganhos térmicos internos devidos aos ocupantes, aos equipamentos e aos dispositivos de iluminação durante toda a estação de arrefecimento calculam-se de acordo com a equação B12.

$$Q_{int,v} = \frac{q_{int} \cdot A_p \cdot L_v}{1000} \quad (B12)$$

Onde,

q_{int} - Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície igual a 4 W/m²;

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²]

L_v - Duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

Os ganhos solares na estação de arrefecimento resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada calculam-se de acordo com a seguinte equação, sendo que a determinação do fator de obstrução de superfícies opacas é opcional devendo, quando considerada, seguir uma abordagem comum à dos vãos envidraçados, equação B13.

$$Q_{sol,v} = \sum_j G_{sol,j} \left[X_j \sum_n A_{s,v_{nj}} \cdot F_{s,v_{nj}} \right] \quad (B13)$$

Em que,

G_{sul} - Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície, [kWh/m².mês]

$F_{s,i_{nj}}$ - Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento

$A_{s,i_{nj}}$ - Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j , [m²]

j - Índice que corresponde a cada uma das orientações

n - Índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação

O fator de utilização dos ganhos térmicos para a estação de arrefecimento é obtido pelo mesmo método que para a estação de aquecimento, utilizando os termos de arrefecimento.

ANEXO C: Resultados das simulações do Quarto ao longo do ano

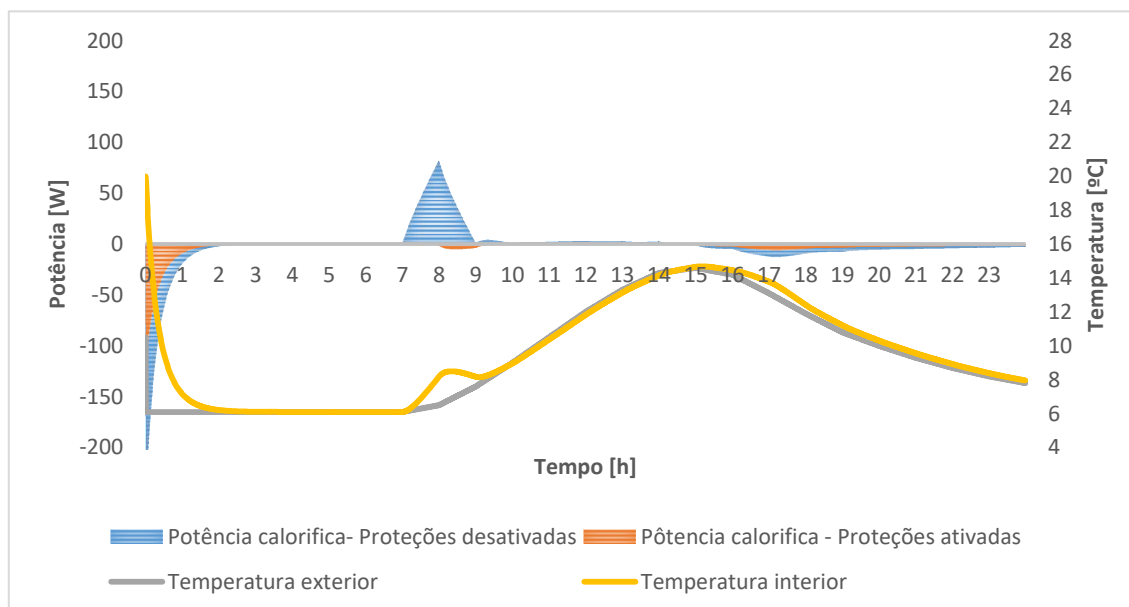


Figura C1 - Evolução da temperatura do Quarto no 5 de fevereiro

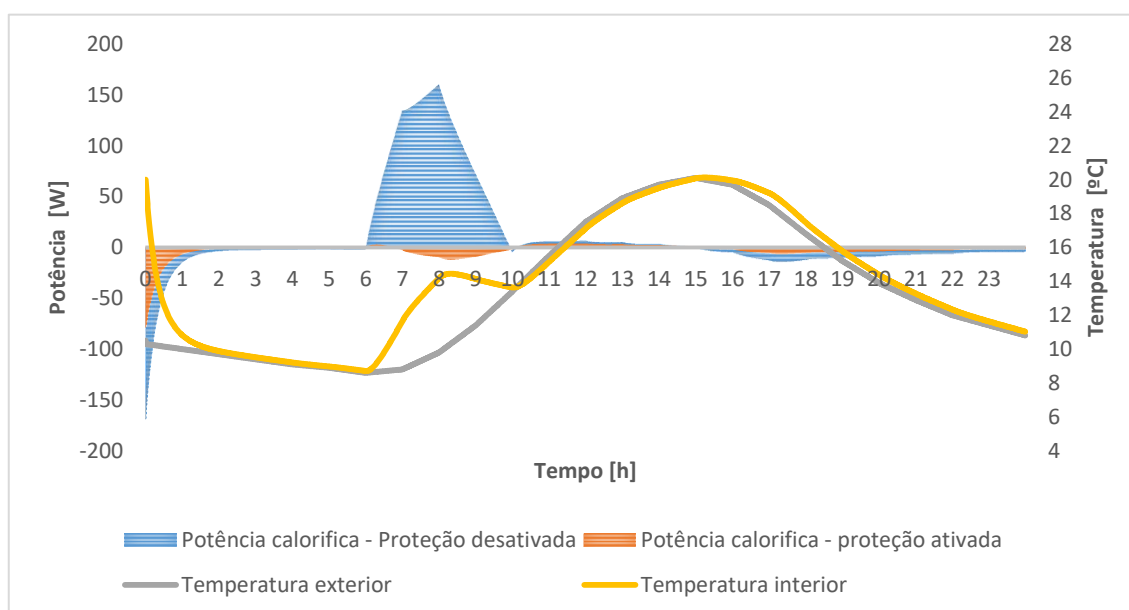


Figura C2 - Evolução da temperatura do Quarto no 20 de Março

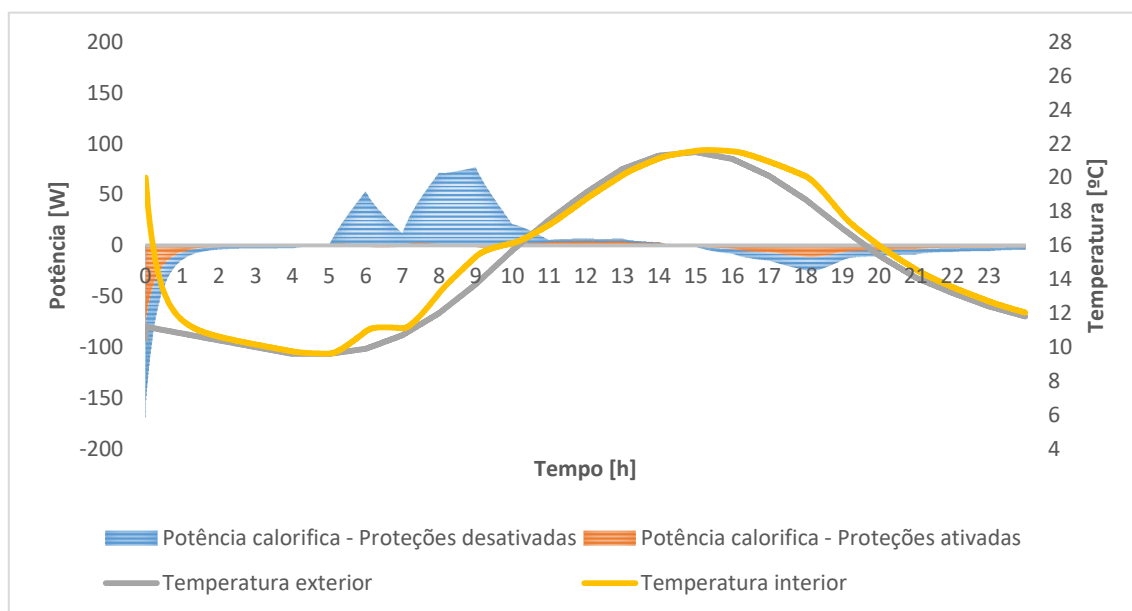


Figura C3 - Evolução da temperatura do Quarto no 4 de Junho

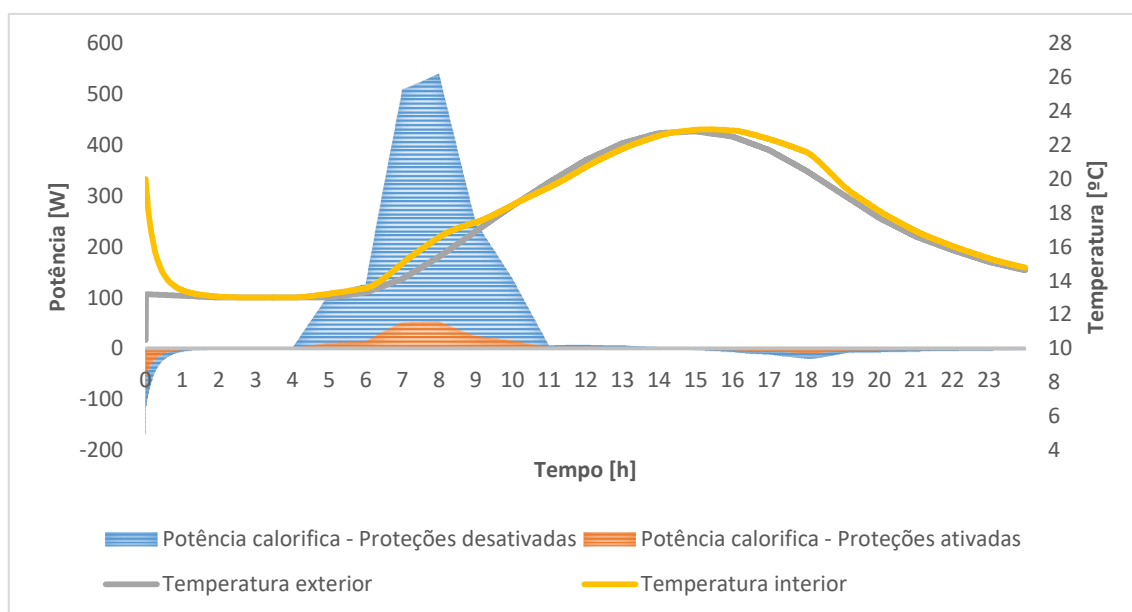


Figura C4 - Evolução da temperatura do Quarto no 21 de Julho

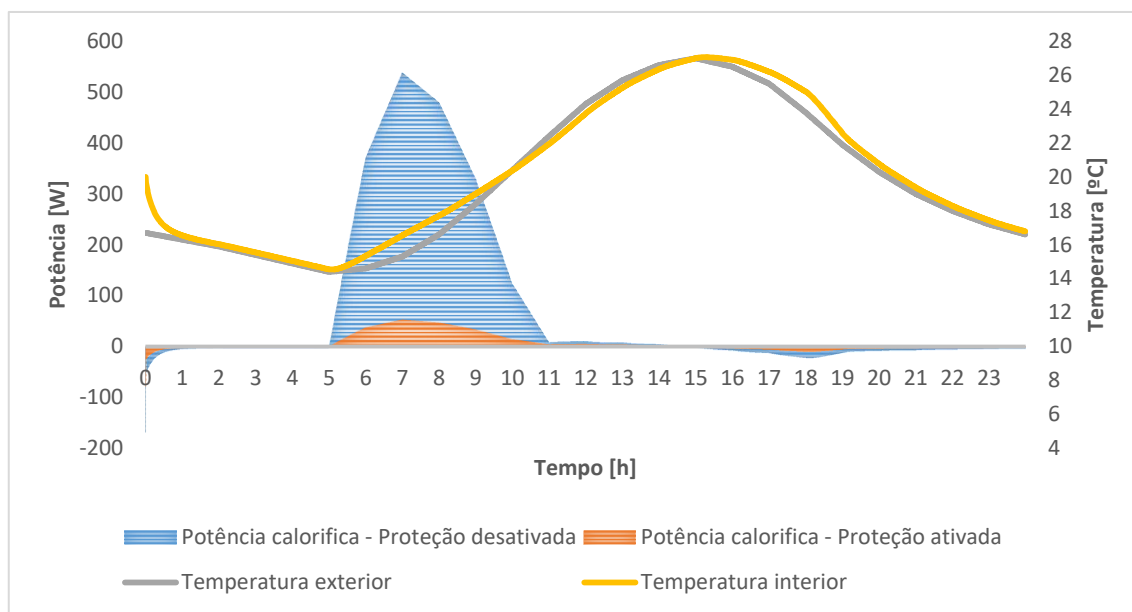


Figura C5 - Evolução da temperatura do Quarto no 5 de Agosto

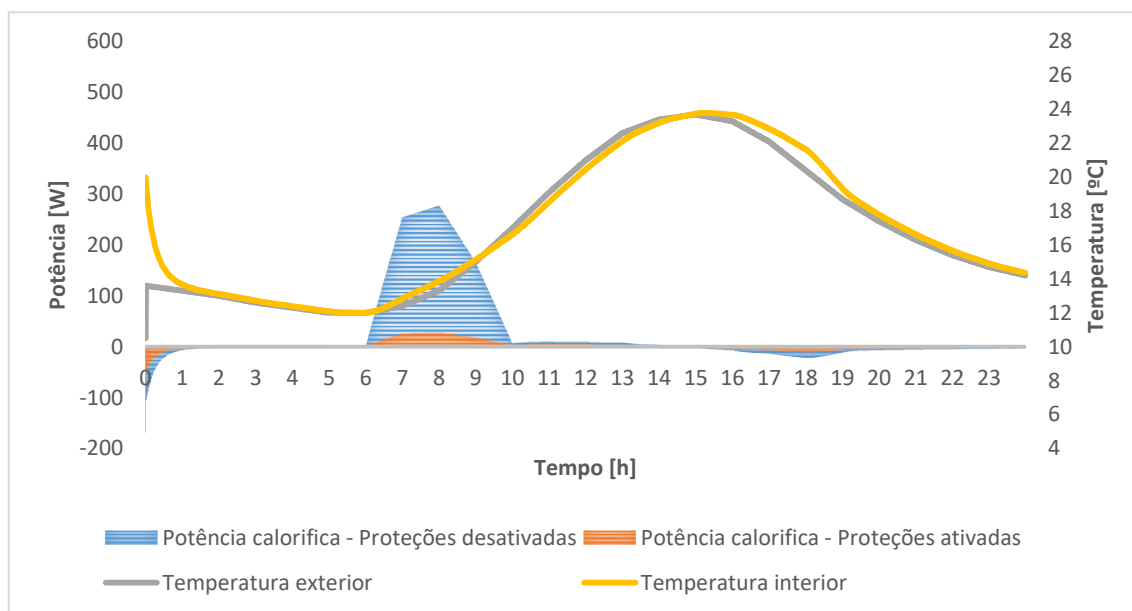


Figura C6 - Evolução da temperatura do Quarto no 22 de Setembro

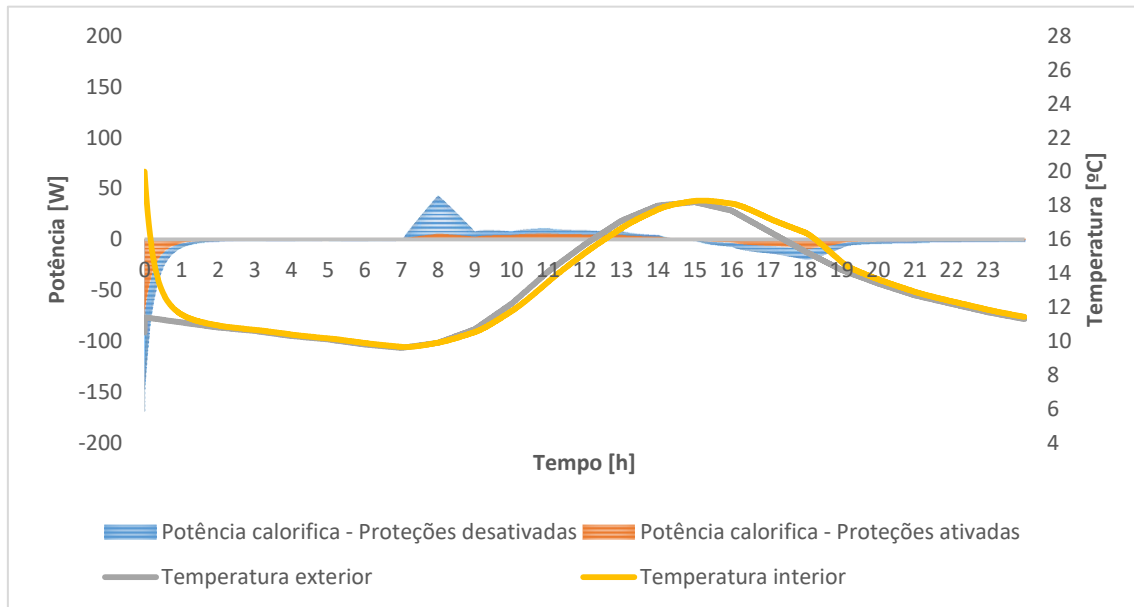


Figura C7 - Evolução da temperatura do Quarto no 6 de Novembro

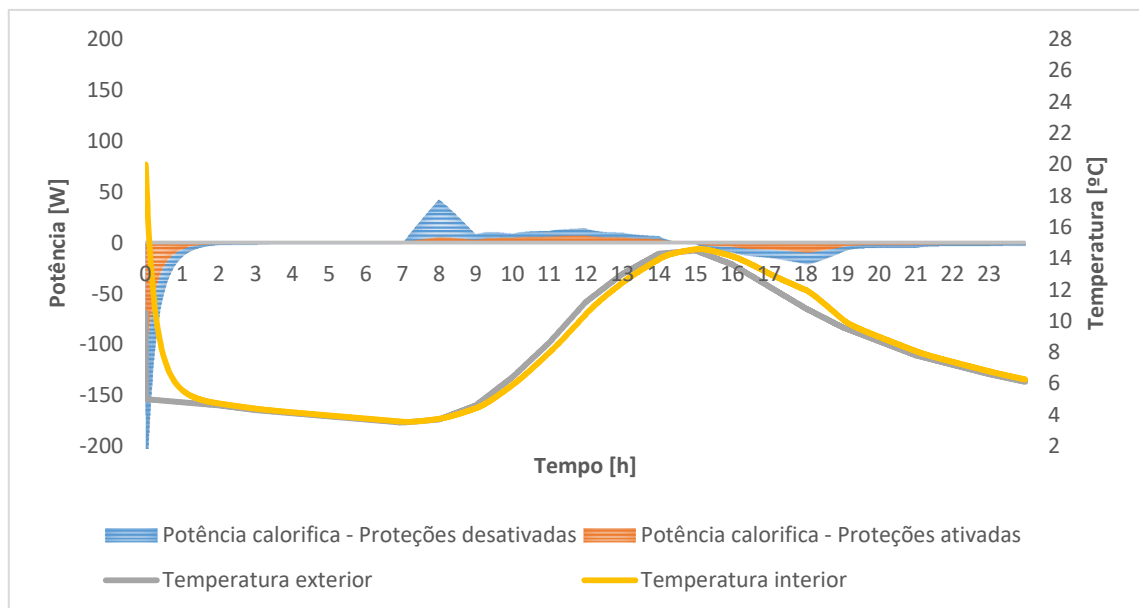


Figura C8 - Evolução da temperatura do Quarto no 21 de Dezembro